



Н.А. Кошелева
С.Б. Шишкина

ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЕТЫ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Екатеринбург
2018

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра механической обработки древесины
и производственной безопасности

Н.А. Кошелева
С.Б. Шишкина

ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЕТЫ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Учебно-методическое пособие
по курсам «Расчет конструкций изделий из древесины
и испытания мебели», «Технология изделий из древесины»
для изучения лекционного материала и выполнения практических
и самостоятельных работ по направлениям 35.03.02, 35.04.02 «Технология
лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств»,
профиль «Технология деревообработки»
очной и заочной форм обучения

Екатеринбург
2018

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЛБиДС.
Протокол № 2 от 12 октября 2017 года.

Рецензент – Чернышев О.Н., зав. кафедрой МОДиПБ, канд. техн. наук,
доцент.

Редактор Е.Л. Михайлова
Оператор компьютерной верстки Т.В. Упорова

Подписано в печать 24.08.18		Поз. 58
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 2,79	Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Общая часть	5
2. Прочность конструкционного материала при постоянных длительных нагрузках	6
3. Расчетные методы определения прочности и размеров элементов мебели. Виды нагрузок и деформаций.....	7
4. Экспертиза качества изделий и испытания	13
5. Методика расчета прочностных показателей мебели	16
5.1. Расчет корпусной мебели на статическую устойчивость	16
5.2. Расчет прочности корпуса мебельных изделий	19
5.3. Расчет устойчивости и прочности вертикальных щитовых элементов (боковых стенок)	24
5.4. Расчет на прочность полок	27
5.5. Расчет прочности крепления дверки с вертикальной осью вращения.....	30
5.6. Расчет прочности крепления задней стенки	34
5.7. Расчет прочности штанги-вешалки для одежды	36
5.8. Расчет жесткости крышки стола.....	37
5.9. Проверочный расчет ящиков	39
5.10. Расчет устойчивости обеденного стола	41
5.11. Расчет крепления спинок кроватей	43
5.12. Расчет жесткости ученического стула	45
Библиографический список	47

ВВЕДЕНИЕ

Мебель, выпускаемая предприятиями, должна быть прочной и долговечной. При бережном отношении и своевременном ремонте она может служить долгое время. Поэтому одно из технических требований к мебельным изделиям заключается в том, чтобы они в процессе эксплуатации сохраняли свою прочность и надежность. Добиться этого можно прежде всего наиболее рациональной конструкцией изделия, правильным выбором материалов и соблюдением технологических режимов изготовления.

В зависимости от критерия надежности по отношению к мебели различают следующие подгруппы потребительских требований: долговечность, ремонтпригодность, безотказность и сохраняемость.

Долговечность – способность мебели сохранять работоспособность до наступления предельного состояния или состояния, требующего ремонта. Показатель долговечности – срок эксплуатации изделий. В стандартах нормируется долговечность деталей и соединений как число циклов нагружений. Данный показатель контролируется при подтверждении соответствия мебели различными испытаниями.

Для корпусной мебели важным показателем долговечности является прочность приклеивания кромочных материалов. Долговечность мягких элементов, обтянутых тканями из синтетических волокон, обычно выше, чем при использовании тканей из натуральных волокон.

Ремонтпригодность мебели зависит от свойств материалов, конструкции изделия, вида соединений деталей. Подвергается ремонту разборная мебель, изготовленная из взаимозаменяемых унифицированных деталей, изготовленных с высокой точностью.

Безотказность характеризует свойства мебели непрерывно сохранять работоспособность в течение определенного времени, особенно важна для трансформируемой мебели.

Сохраняемость мебели обусловлена свойствами исходных материалов, технологией изготовления, наличием защитных покрытий, зависит от условий хранения и эксплуатации.

Так как мебель – это не только атрибут функциональный, но и эстетический и нередко очень дорогой, то необходимо правильно разрабатывать ее конструкцию и качественно изготавливать, тогда изделие прослужит без разрушений длительное время.

1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Прочность и надежность являются основными показателями среди множества качественных показателей, которым должны соответствовать изделия из древесины и древесных материалов.

Прочность определяет способность конструкции изделия сопротивляться действию внешних сил без разрушения и деформации изделия. Надежность – это свойство конструкции изделия, обусловленное безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью самого изделия и его отдельных частей и обеспечивающее сохранение эксплуатационных показателей конструкции в заданных пределах в течение определенного периода времени. Надежность изделий формируется в первую очередь при конструировании, а также при изготовлении и эксплуатации изделия.

Изделия мебели изготавливаются из массивной древесины хвойных и лиственных пород и плитных материалов на древесной основе (древесностружечных, древесноволокнистых плит, МДФ, фанеры), обладающих высокими показателями прочности и жесткости, обеспечивающими требуемую прочность и надежность изделий в процессе эксплуатации.

На прочность и надежность мебели и других изделий из древесины, кроме качества исходных материалов, влияют размеры деталей и сборочных единиц, способы их соединений, качество и точность обработки, вид и качество клеевых веществ, технологические режимы производства, условия эксплуатации и нагрузки, действующие на мебель, и мн. др.

При проектировании мебели в основу должны быть положены факторы, обеспечивающие качество мебели. Изделия должны быть прочными и надежными, отвечать своему назначению, иметь простые формы, высокую комфортабельность и функциональность, технологичность и экономичность изготовления. Вопросы прочности и надежности заслуживают особого внимания и серьезного отношения и должны решаться на основе строгих математических расчетов с использованием методов классической механики. Результаты прочностных расчетов деталей, сборочных единиц и в целом изделий должны проверяться контрольными испытаниями изделий после их изготовления.

В данном учебно-методическом пособии рассматриваются вопросы обеспечения прочности и надежности составных частей мебельных изделий на стадии проектирования путем проведения элементарных прочностных расчетов мебельных составных частей, испытывающих в процессе эксплуатации наибольшие статические и динамические нагрузки. При проектировании изделий следует учитывать свойства используемых конструкционных материалов, применять известные и общепринятые правила конструирования на базе типовых и унифицированных деталей и сборочных единиц, руководствоваться требованиями действующих стандартов ГОСТ 16371-2014 «Мебель. Общие технические условия», ГОСТ 19917-2014

«Мебель для сидения и лежания. Общие технические условия», а также требованиями «Технического регламента таможенного союза ТР ТС 025/2012 «О безопасности мебельной продукции» [1–3].

Основное назначение прочностных расчетов – развитие у обучающихся творческого конструктивного подхода к решению инженерных задач.

Мебельное изделие относится к статически неопределенным конструкциям, прочностные расчеты которых весьма сложны, объемны и выполняются специальными методами, которые не изучаются в других учебных дисциплинах. В методическом пособии приведены примеры прочностных расчетов мебельных изделий, которые носят проверочный характер.

Анизотропия и широкая вариация упругопластических свойств древесных материалов усложняют прочностные расчеты при конструировании мебели. В зависимости от требований к изделиям на основании определенных допущений прочностные расчеты могут носить упрощенный проверочный характер с невысокой степенью вероятности результатов.

При прочностных расчетах элементов изделия, деталей или сборочных единиц исходят из двух требований. Во-первых, деталь или сборочная единица не должны разрушаться при эксплуатации. Во-вторых, деформация детали или сборочной единицы не должна превышать допустимых пределов. С учетом этих требований расчеты ведутся на прочность конструкции и на деформативность [4].

2. ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПОСТОЯННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ

Изделия мебели эксплуатируются годами. Для всех видов напряженного состояния предел долговременного сопротивления древесины (максимальное напряжение, при котором разрушение не происходит в течение длительного времени) составляет примерно 0,5–0,6 предела прочности при кратковременных статических испытаниях. Это значит, что при выполнении прочностных расчетов исходные свойства материалов (модуль упругости, допускаемые напряжения) должны приниматься с учетом поправки на долговременность эксплуатации.

Для древесностружечных плит предел долговременного сопротивления: при сжатии — 0,4–0,5, при растяжении — 0,3–0,4, при изгибе — 0,35 от разрушающей нагрузки. Напряжения в конструкциях должны быть меньше пределов долговременного сопротивления, при этом коэффициент запаса прочности $K_3 \sim 3$.

Определение пределов долговременного сопротивления и модуля упругости связано с большими трудностями, поэтому находят их по показателям, полученным при кратковременных статических испытаниях. Так, модуль упругости E_0 при статическом изгибе и длительный модуль упругости $E_{0л}$ определяют по формулам

$$E_0 = 5Ql^4 / (32ba^3 f_0), \quad E_{\text{ол}} = E_0 / (1 + \varphi),$$

где Q — нагрузка на образец;

l, b, a — соответственно длина пролета между опорами, ширина и толщина образца;

f_0 — прогиб образца;

φ — коэффициент ползучести материала.

Коэффициент ползучести определяют экспериментально. Его значение колеблется в зависимости от свойств плит, их толщины, наличия облицовки, вида облицовочных материалов. Для древесностружечных плит, облицованных строганым шпоном дуба, $\varphi \sim 0,65-0,8$, а для облицованных пленками на основе пропитанных бумаг — $\varphi \sim 0,7-0,95$.

Таким образом, прочностные показатели на долговременность эксплуатации изделия для древесных и плитных материалов можно принимать с поправочным коэффициентом 0,5 от соответствующих показателей при кратковременных статических испытаниях, приведенных в ГОСТах на эти виды материалов [4, 5].

3. РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И РАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТОВ МЕБЕЛИ. ВИДЫ НАГРУЗОК И ДЕФОРМАЦИЙ

Конструкции мебели разнообразны, однако имеют схожие признаки, которые допускают применение общих методов расчета. В корпусной мебели элементом, несущим основные нагрузки, является коробчатый корпус, который состоит из верхнего и нижнего горизонтальных щитов, боковых, средних и задних стенок и дверей. Все они связаны между собой жесткими, шарнирными или упругоподатливыми соединениями. Ящики, полки, штанги-вешалки воспринимают и передают на корпус эксплуатационные нагрузки, но практически не влияют на силовую схему работы конструкции.

Точное отражение работы всех элементов корпуса — сложная и практически трудно решаемая задача, поэтому в ряде случаев работа конструкции принимается упрощенной, что позволяет использовать и более простые методы расчета. Если несущие элементы изделий мебели представлены в виде отдельных стержней, то для горизонтальных элементов применяются расчетные схемы изгибаемой балки, а для вертикальных — расчетные схемы стержней, работающих на продольное сжатие [4, 6].

Прочность — это способность материала или конструкции сопротивляться действию внешних сил не разрушаясь. Расчеты на прочность позволяют определить размеры и форму деталей, выдерживающих заданную нагрузку при наименьшей затрате материала.

Твердость – способность материала сопротивляться проникновению в него другого тела, практически не получающего остаточных деформаций.

Жесткость – это способность конструкции сопротивляться деформации. Расчеты на жесткость должны гарантировать, что изменения формы и размеров конструкций и их элементов не превысят допустимых норм.

Устойчивость – это способность конструкции сопротивляться усилиям, стремящимся вывести ее из исходного состояния равновесия. Расчеты на устойчивость показывают на возможность опрокидывания изделия при определенной нагрузке.

При деформации изделия под действием внешних сил внутри него возникают силы упругости, которые препятствуют деформации и стремятся вернуть отдельные части изделия в первоначальное положение. Силы упругости возникают в результате существования в материале изделия внутренних сил молекулярного взаимодействия. После прекращения действия внешних сил вызванная ими деформация может полностью или частично исчезнуть.

Способность материала устранять деформацию, восстанавливать форму и размеры после прекращения действия внешних сил называется упругостью. Деформация, исчезающая после прекращения действия внешних сил, называется упругой. Деформация, не исчезающая после прекращения действия внешних сил, называется остаточной или пластической. Возникновение значительных остаточных деформаций в большинстве случаев приводит к нарушению нормальной работы конструкции изделия и поэтому считается нарушением прочности и может вызвать разрушение изделия.

Пластичность – способность материала на значительные остаточные деформации без разрушения.

В процессе эксплуатации изделия все его детали воспринимают и передают друг другу различные нагрузки, т. е. силовые воздействия, которые вызывают деформацию узлов и деталей. Нагрузки на изделие и его детали могут быть сосредоточенными в одной точке или распределенными по всей длине или площади изделия.

В зависимости от характера действия нагрузок во времени их подразделяют на статические и динамические.

Статическими называют нагрузки, величина, направление и место приложения которых остаются постоянными или меняются медленно и незначительно. Примеры статической нагрузки – сила тяжести самого корпусного изделия и хранящихся в нем предметов.

Динамическими называют нагрузки, которые быстро изменяются во времени по величине, направлению и месту приложения. К динамическим нагрузкам относятся ударные, внезапно приложенные и повторно-переменные нагрузки, которые характерны для мебели для сидения и лежания.

Основные разновидности деформаций в процессе эксплуатации изделий:

- растяжение;
- сжатие;
- сдвиг;
- изгиб.

Очень часто детали и изделия подвергаются действию нагрузок, вызывающих одновременно несколько основных деформаций.

Прочность мебельных изделий зависит от ряда факторов, из которых главными являются:

- качество применяемого сырья и материалов;
- оптимальные размеры деталей;
- точность обработки деталей;
- строгое соблюдение технологических режимов изготовления изделия;
- способы соединений и средства сборки деталей в изделие.

Первые четыре фактора контролируются в процессе производства изделий мебели. Пятый фактор является одним из основных, обеспечивающих прочность изделия на этапе сборки и эксплуатации.

Прочность изделий корпусной мебели складывается из прочности корпуса и прочности основания. Во время эксплуатации на все основные элементы корпусной мебели действуют нагрузки, которые можно разделить на следующие:

- возникающие от массы самого изделия;
- возникающие от массы хранящихся в изделии предметов;
- возникающие в процессе эксплуатации при перемещении изделий мебели.

Нагрузки, возникающие от массы хранящихся предметов, наиболее стабильны и действуют на горизонтальные элементы мебели. При максимальном заполнении изделий мебели предметами эти нагрузки можно считать постоянными и равномерно распределенными. Они могут быть определены достаточно точно с учетом удельной эксплуатационной нагрузки, приведенной в соответствующих разделах ГОСТ.

Нагрузки, возникающие от массы самого изделия, могут быть точно определены взвешиванием или расчетом в зависимости от объема деталей и плотности материала деталей. Влияние нагрузки от массы изделия на прочность конструкции не столь существенно.

Нагрузки, возникающие в изделиях мебели в процессе ее перемещения, действуют чаще всего на ее боковые стенки и основания. Эти нагрузки определяются многими факторами и в первую очередь зависят от типа изделия, его размеров и функционального назначения. Силы, составляющие эту нагрузку, имеют направление, близкое к горизонтальному, могут быть приложены на различной высоте от пола и вызывают наибольшее напряжение в соединениях. Эти силы могут вызывать опрокидывание или перемещение мебели.

Во время эксплуатации изделий на основание мебели действуют следующие нагрузки:

- масса корпуса изделия и находящихся в нем предметов;
- силы трения, возникающие во время перемещения мебели;
- удары, возникающие при перемещении мебели в результате зацепления ножками или другими опорами за неровности пола.

Анализируя нагрузки, действующие на основание изделия, можно сказать, что наиболее опасными для конструкции основания являются нагрузки, которые действуют на каждую пару ножек шкафа в момент перемещения изделия и в момент зацепления. Эти силы имеют горизонтальное зацепление и могут действовать на ножки с разных сторон.

В практике сложилось так, что отдельные детали и сборочные единицы мебели при проектировании не рассчитываются на прочность, а их размеры устанавливаются исходя из наиболее удобной компоновки изделия. Длительная эксплуатация изделий позволила установить размеры деталей и узлов, обеспечивающие их надежность. Размеры отдельных элементов принимались интуитивно с большим запасом прочности (особенно в стильной мебели).

Традиционно сложилось убеждение, что изделия мебели являются неопасными в эксплуатации, так как поломки и разрушение их не приводят к возникновению несчастных случаев (тяжелых последствий) [7].

Изделия мебели изготавливались в основном из традиционных древесных материалов (массивной древесины лиственных пород), обладающих высокими показателями прочности, обеспечивающими высокую прочность и надежность изделий в процессе эксплуатации.

Мебель и в целом различные изделия из древесины выпускались в неразобранном виде. На прочность и надежность их влияли: качество исходных материалов, размеры деталей и сборочных единиц, качество и точность обработки, принятые способы соединений, вид и качество клеевых веществ, технологические режимы производства и др.

При этом вопросы технологичности изделий, рационального использования древесных и других основных материалов, экономики и эффективности производства не являлись доминирующими.

При проектировании современной мебели в основу должны быть положены факторы, обеспечивающие выпуск качественных изделий. Изделия должны быть прочными и надежными, отвечать своему назначению, красивыми и правильно архитектурно оформленными, технологичными и недорогими, изготовленными из недефицитных материалов с широким использованием древесины мягких лиственных пород в натуральном и лакированном виде и других полноценных заменителей древесины ценных твердых пород и в первую очередь полимерных материалов.

При конструировании современной мебели необходимо учитывать ее особенности: простоту формы, высокую комфортабельность и функциональность, технологичность и экономичность изготовления, массовость

производства, высокое качество облицовывания и отделки, компенсирующие простоту изделия [8].

Сейчас в связи с массовым применением в производстве мебели древесностружечных и древесноволокнистых плит, деталей из полимерных материалов, гнутоклееных деталей вопросы прочности и надежности изделий заслуживают особого внимания и отношения. Они должны решаться на основе строгих математических расчетов с использованием методов классической механики. Результаты прочностных расчетов деталей, сборочных единиц и в целом изделий должны проверяться контрольными испытаниями изделий после их изготовления. В настоящее время разработаны и разрабатываются стандарты в России и в странах таможенного союза на методы испытания различных видов мебели и материалов, применяемых для ее изготовления.

В предлагаемом методическом пособии рассматриваются вопросы обеспечения прочности и надежности составных частей мебельных изделий на стадии проектирования путем проведения элементарных прочностных расчетов несущих, составных частей, испытывающих в процессе эксплуатации наибольшие статические и динамические нагрузки. При проектировании изделий надлежит учитывать свойства используемых конструкционных материалов, умело применять и выполнять известные общепринятые правила конструирования на базе типовых и унифицированных деталей и сборочных единиц, руководствоваться действующими стандартами и другими нормативными документами, регламентирующими размеры, способы соединения составных частей мебельных изделий. Необходимо учитывать сложившиеся условия (технология) изготовления и эксплуатации изделий и перспективные направления, определенные достижениями научно-технического прогресса.

Прочностные расчеты деталей изделий из древесины могут выполняться двумя принципиально различными методами [4]:

1) методом классическим (комплексным), когда размеры деталей устанавливаются исходя из допускаемых напряжений, где допускаемое напряжение представляет собой предел прочности, умноженный на коэффициент запаса прочности. Последний, в свою очередь, является произведением ряда коэффициентов, учитывающих условия работы, масштабность и т. п.;

2) вероятностным методом, в котором понятие «запас прочности» приобретает иной смысл, связанный с понятием надежности – свойством изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои функциональные показатели в заданных пределах в течение требуемого времени. Этот метод более совершенен, но пока еще недостаточно разработан. Здесь учитывается вероятностный характер нагрузок, которые в реальных условиях колеблются для каждой детали в некоторых пределах (варьируют в определенном диапазоне) в зависимости от условий эксплуатации изделия. Изменяются прочностные характеристики материала детали, особенно древесных

материалов вследствие разброса их механических характеристик. В этом смысле оказывает влияние также неоднородность технологических режимов изготовления деталей, их размеры и др. Так, предел прочности гнуто-клееных деталей варьируется в пределах: при сжатии 5–10, при скалывании 10–18, при отрыве 10–20 %.

При прочностном расчете элементов изделия (деталей или узлов) исходят из двух требований: 1) деталь не должна разрушаться при эксплуатации; 2) деформация детали не должна превышать допускаемых пределов. Учитывая эти требования, ведут расчет на прочность конструкции и на ее деформативность.

В общем виде два указанных выше требования можно записать формулами (3.1) и (3.2).

$$\text{Прочность } Q = \sigma \prod_{(i=1)}^k X_i n_i; \quad (3.1)$$

$$\text{Деформативность } f = E^{-1} \prod_{(i=1)}^k X_i m_i, \quad (3.2)$$

где X_i – геометрические размеры рассчитываемого элемента;

k – количество участвующих в работе элементов;

σ – допускаемое напряжение материала;

E – модуль упругости;

n_i и m_i – показатели степени, учитывающие закон зависимости несущей способности и деформации от условий работы элемента и его размеров.

Различие этих методов в подходах к решению уравнений заключается в том, что по второму методу величина X считается величиной случайной, а значит, и результаты Q и f также будут случайными. По первому же методу эти величины принимают строго определенными, что практически не имеет места. Между тем в основу теории сопротивления материалов положен первый метод. Теория вероятностного метода еще нуждается в разработках и исследованиях. Прочностные расчеты мебельных изделий проще осуществлять по правилам классической механики.

В данной методике расчет на прочность изделий из древесины проводится по первому методу. Следует помнить, что прочность древесины зависит от направления действия нагрузки относительно направления волокон. Основные расчетные сопротивления древесины сосны в зависимости от угла между направлением действия нагрузки и волокон определяются по формулам:

$$\text{при смятии древесины } R_{сма} = \frac{13,00}{(1 + 6,22 \sin^3 \alpha)}, \quad (3.3)$$

$$\text{при скалывании} \quad R_{ска} = \frac{2,40}{1 + \sin^3 \alpha}, \quad (3.4)$$

где $R_{см} \alpha$ и $R_{ск} \alpha$ – расчетные сопротивления древесины при смятии и скалывании, МПа;

α – угол между направлением нагрузки и направлением волокон.

Эти зависимости могут быть с определенными допущениями приняты для всех пород древесины.

4. ЭКСПЕРТИЗА КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ И ИСПЫТАНИЯ

Экспертиза качества изделия проводится с целью определить пригодность изделия выполнять ту или иную функцию в конкретных условиях, проверить технологичность изделия и соответствие стандартам (ГОСТ, ISO) и техническим условиям (ТУ), регламентам.

Экспертиза проводится различными методами:

- расчетно-измерительными;
- экспертными;
- экспериментальными;
- испытательными.

Основные этапы экспертизы качества изделий следующие:

- изучение изделия;
- изучения условий производства и потребления;
- определение свойств и показателей качества;
- проведение расчетов, испытаний и экспериментов;
- выбор критериев оценки и базовых образцов;
- формирование выводов о качестве изделия (заключение).

Экспертиза потребительских свойств изделия – это анализ и оценка изделия с целью определения его качества с позиции потребителя.

Испытание качества продукции (образцов) – всесторонняя проверка свойств изделия, проводимая изготовителем, потребителем и еще одной сторонней организацией.

Образец продукции – единичное изделие, изготовленное в условиях массового производства и взятое как эталон для промышленного воспроизводства, сравнения и исследования. Наличие образца продукции обеспечивает высокий уровень контроля за выполнением технологического процесса. Образцом может быть часть изделия (ящик, дверка) или целое изделие.

Контрольный образец – эталон, утвержденный в установленном порядке, характеристики которого приняты за основу при изготовлении и контроля такой же продукции (эталон шероховатости, отделки и т.п.).

Промышленный образец – новое изделие, дающее положительный эффект, отличающийся от аналогов с обязательным требованием для регистрации и юридической защиты (полезная модель, патент и т.д.)

Базовый образец – образец продукции, изготовленный по передовым технологиям, используется для сравнения технического уровня, устанавливается на определенный период и определенную продукцию, предназначенную для конкретной группы потребителей.

Опытный образец – изделие, изготовленное по новой конструкторской и технологической документации в целях проверки путем испытаний для последующего принятия решения о возможности внедрения этого изделия в производство.

По уровню качества мебельные изделия делятся на две категории качества продукции – высшая категория и первая категория. Продукция высшей категории по своим технико-экономическим показателям находится на уровне лучших мировых достижений или превосходит их, соответствует нормативно-технической документации и характеризуется высокой стабильностью всех показателей. Изделия первой категории имеют более низкие показатели.

Уровень качества мебели оценивается по следующим показателям:

- комфортабельность (удобство размещения в помещении, удобство ухода за изделием, удобство пользования);
- надежность (соответствие требованиям нормативно-технической документации);
- эргономичность (соответствие функциональным размерам, соответствие антропометрическим характеристикам);
- эстетичность (форма, цвет, фактура, рисунок лицевых поверхностей, гармоничность фурнитуры);
- патентно-правовые показатели (патентная защита, патентная чистота);
- унификация (повторяемость, взаимозаменяемость);
- безопасность (соответствие нормативно-технической документации);
- защитно-декоративное покрытие (ЗДП).

Контроль качества мебели за рубежом проводится в соответствии с международными стандартами ISO. Система оценки эксплуатационных свойств, входящих в стандарты ISO, включает несколько степеней показателей качества, определяемых испытаниями различной интенсивности. Существует 5 степеней интенсивности испытаний:

I – бережное использование легкой изящной мебели (кофейные, сервировочные столики, стильные стулья и т.д.);

II – интенсивное использование мебели общего назначения, обычное бытовое использование (спальни, гостиные, легкая дачная мебель);

III – среднеинтенсивное использование мебели бытового назначения (обеденные столы, стулья, тяжелая садовая мебель);

IV – интенсивное использование мебели, предназначенной для использования в общественных зданиях, где возможно грубое обращение (офисы, административные помещения);

V – экстремальное использование мебели (школы, общежития, вокзалы, уличные кафе).

Оценка мебельных изделий производится по 4 показателям: полезность, прочность, стойкость, качество исполнения (добротность).

Полезность характеризуется размерами или другими функциональными показателями, соответствующими максимальному удобству при эксплуатации.

Прочность – способность изделия и его элементов выдерживать нормальные эксплуатационные нагрузки.

Стойкость – способность его поверхностей противостоять воздействию жидкостей, тепла, жиров и т.п.

Качество исполнения (добротность) характеризует изделия, выполненные из высококачественных материалов, и высококачественное изготовление продукции.

Образцы, отвечающие всем требованиям, получают гарантийный знак «мебель-факта» и сертификат качества, которые периодически необходимо подтверждать.

Механические испытания имеют большое значение не только для расчета на прочность, но и для контроля качества материала или выпускаемых изделий. При этом испытаниям могут подвергаться как специально изготовленные образцы, так и сами изделия или их части (сборочные единицы, детали). Широко применяются механические испытания в процессе создания новых конструкционных материалов и новых конструкций изделий.

Прочность конструкции обеспечена, если возникающее в ней или расчетное $\sigma_{расч}$ наибольшее напряжение не превышает допустимого напряжения $[\sigma_{доп}]$, т. е. соблюдается условие

$$\sigma_{расч} \leq [\sigma_{доп}]. \quad (4.1)$$

Это неравенство называется условием прочности.

Коэффициент запаса прочности n должен быть всегда больше единицы

$$n = \frac{[\sigma_{доп}]}{\sigma_{расч}} > 1. \quad (4.2)$$

Допускаемые напряжения – это наибольшие напряжения, которые можно допустить в конструкции изделия из условий его безопасности, надежной и долговечной работы. Эти напряжения зависят от свойств материала, вида деформации, конструкции изделия и требуемого коэффициента запаса прочности.

Расчетные напряжения – это те, которые возникают в конструкции изделия и в его части под действием приложенных к нему расчетных или нормируемых нагрузок. Эти напряжения зависят от нагрузок, действующих на конструкцию изделия, его размеров и свойств материала.

В зависимости от цели испытания согласно ГОСТ 16373-14 мебель подвергается приемочным, квалификационным, периодическим, типовым

испытаниям, а также обязательному подтверждению соответствия установленным требованиям (обязательная сертификация, декларирование соответствия).

Приемочные испытания проводятся при освоении новой мебели, периодические – контрольные испытания продукции, проводимые в установленные сроки по графику.

Типовые испытания проводятся при освоении нового производства или если в конструкцию изделия или технологию его изготовления внесены изменения, влияющие на прочность изделия.

Испытания для цели подтверждения соответствия допускается совмещать с приемочными, квалификационными и периодическими, если они проводятся в аккредитованных испытательных центрах или лабораториях.

Для испытаний методом случайного отбора от партии изделий до 400 шт. отбирается один образец, если партия более 400 шт., то два образца.

5. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕБЕЛИ

Для правильного расчета любого изделия на прочность необходимо знать, как оно будет нагружено – равномерно распределенной или сосредоточенной нагрузкой. Необходимо заранее определить место приложения сосредоточенной нагрузки и равнодействующей силы при распределении нагрузки, а также вычислить величину и определить характер действующих сил для каждой детали или сборочной единицы изделия. После этого приступают к расчету на прочность отдельных деталей и сборочных единиц. В основном на прочность рассчитывают отдельные, наиболее ответственные, детали и сборочные единицы. Если максимальные напряжения, определенные расчетом, не превышают величины напряжений, допускаемых запасом прочности, то рассчитываемые детали или сборочные единицы считаются допустимыми к безопасной эксплуатации.

5.1. Расчет корпусной мебели на статическую устойчивость

При разработке конструкции любого изделия из древесины, древесных и других материалов следует учитывать особенности условий его эксплуатации. Соотношение масс сборочных единиц и деталей изделия и положение опор не должны при эксплуатации нарушить устойчивость изделия – способность изделия сопротивляться опрокидыванию при самых неблагоприятных условиях эксплуатации: открытых распашных и откидных дверках, выдвинутых ящиках, полужащиках и полках.

Изделия с раздвижными дверями, например шкафы-купе, не имеющие выдвигаемых ящиков, полок, являются заведомо устойчивыми, если их опоры

расположены в плоскостях дверок и задней стенки или близко к ним. Такие изделия, как правило, на устойчивость не испытывают и не рассчитывают.

При расчете корпусных изделий мебели на статическую устойчивость в соответствии с ISO 7171-88 «Мебель. Емкости для хранения. Определение устойчивости» или ГОСТ 19882-91 «Мебель корпусная. Методы испытаний на устойчивость, прочность и деформативность» допускают самое неблагоприятное положение изделия: все выдвижные ящики и полки с полной нагрузкой выдвинуты на 2/3 длины, дверки открыты на угол 90°. К ящикам прикладывается сосредоточенная нагрузка T , а к дверкам – нагрузка P (рис. 5.1).

Статическая устойчивость характеризуется коэффициентом устойчивости $K_{уст}$, равным отношению моментов сил, противодействующих опрокидыванию $M_{уст}$, к моменту сил $M_{опр}$, опрокидывающих изделие при его перемещении или воздействии опрокидывающей нагрузки. Момент сил, препятствующих опрокидыванию относительно оси 0-0, проходящей через передние опоры корпуса, определяется по формуле

$$M_{уст} = (Q \frac{b}{2} + \frac{1}{6} b \sum_{i=1}^n \frac{1}{3} q_{ящ_i}) g. \quad (5.1)$$

Момент сил, опрокидывающих изделие относительно оси 0-0, определяется по формуле

$$M_{опр} = (\sum_{i=1}^m q_{дв_i} \frac{l}{2} + \frac{1}{3} b \sum_{i=1}^n q_{ящ_i}) g + Pl + T \frac{2}{3} b. \quad (5.2)$$

В этих формулах:

$M_{уст}$ – момент сил, обеспечивающий устойчивость изделия относительно оси 0-0, Н·м;

$M_{опр}$ – момент сил, опрокидывающих изделие относительно оси 0-0, Н·м;

g – ускорение свободного падения, $g = 10 \text{ м/с}^2$;

Q – масса корпуса изделия без массы дверей и ящиков, кг;

$q_{ящ_i}$ – масса ящика, включая массу хранимых в нем вещей, кг;

$q_{дв_i}$ – масса дверей, кг;

b – расстояние между опорами (глубина корпуса), м;

l – ширина двери, м;

P – возможная случайная сосредоточенная нагрузка на дверку, 250 Н;

T – возможная случайная сосредоточенная нагрузка на ящик, 150 Н;

n – количество ящиков;

m – число дверей;

Коэффициент устойчивости определяется из выражения

$$K_{уст} = \frac{M_{уст}}{M_{опр}}. \quad (5.3)$$

Коэффициент устойчивости должен соответствовать условию:

$$K_{уст} > 1,2.$$

Пример расчета статической устойчивости шкафа

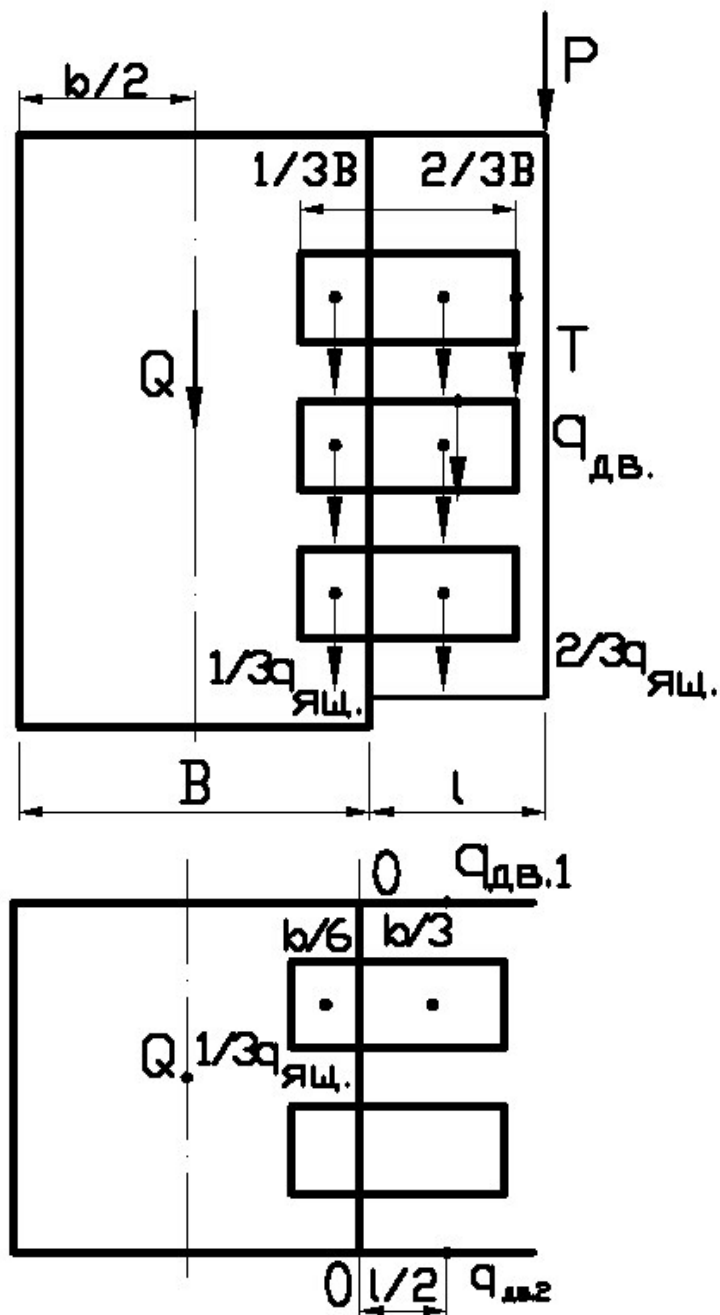


Рис. 5.1. Схема к расчету статической устойчивости корпусной мебели:

Q – масса корпуса шкафа без ящиков и дверок, кг;

$q_{\text{ящ.}}$ – масса ящика с вещами, кг;

$q_{\text{дв.}}$ – масса дверки, кг;

b – глубина корпуса, м;

l – ширина двери, м;

P – усилие, прикладываемое к открытой дверке, 250 Н (25 кгс);

T – усилие, прикладываемое к выдвинутому ящику, 150 Н (15 кгс)

Исходные данные:

1. Масса корпуса шкафа $Q = 90$ кг.

2. Масса дверок $\sum_{m=1}^m q_{дв} = 20$ кг.

3. Масса ящиков с вещами $\sum_{i=1}^n q_{ящ} = 40$ кг.

4. Ширина двери $l = 0,3$ м.

5. Глубина шкафа $b = 0,6$ м.

6. Нагрузка на дверь $P = 250$ Н.

7. Нагрузка на ящик $T = 150$ Н.

$$M_{уст} = (Q \frac{b}{2} + \frac{1}{6} b \sum_{i=1}^n \frac{1}{3} q_{ящ}) g = (90 \frac{0,6}{2} + \frac{1}{6} 0,6 \frac{1}{3} 40) 10 = 283,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{оп} = (\sum_{i=1}^m q_{дв} \frac{l}{2} + \frac{1}{3} b \sum_{i=1}^n \frac{2}{3} q_{ящ}) g + Pl + T \frac{2}{3} b = (20 \frac{0,3}{2} + \frac{1}{3} \cdot 0,6 \frac{2}{3} 40) 10 + 250 \cdot 0,3 + 150 \frac{2}{3} 0,6 = 218,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$K_{уст} = \frac{M_{уст}}{M_{оп}} = \frac{283,3}{218,3} = 1,3 > [1,2].$$

Рассматриваемое изделие имеет достаточную степень устойчивости. Чем тяжелее дверки и ящики шкафа, а также больше ширина дверей и глубина ящиков, тем менее устойчив шкаф.

При эксплуатации корпусного изделия не следует открывать одновременно все дверки и выдвигать все ящики, особенно если шкаф имеет небольшую глубину b . Неглубокие шкафы и стеллажи следует крепить к другим изделиям или стенам. Тяжелые вещи и предметы следует хранить также в нижней части шкафа и ближе к задней стенке.

5.2. Расчет прочности корпуса мебельных изделий

Конструируемое изделие должно быть прочным, это зависит от толщины щитов и надежности соединений. Размеры деталей, воспринимающих нагрузки при эксплуатации изделий, должны быть минимальными, но обеспечивать требуемую надежность изделия при длительной эксплуатации.

Расчет прочности корпуса выполняется исходя из того, что наиболее опасные напряжения в местах соединения деталей мебели возникают во время перемещения ее с места на место.

Схема воздействия силы перемещения мебели на ее корпус и возникающие при этом моменты показаны на рис. 5.2.

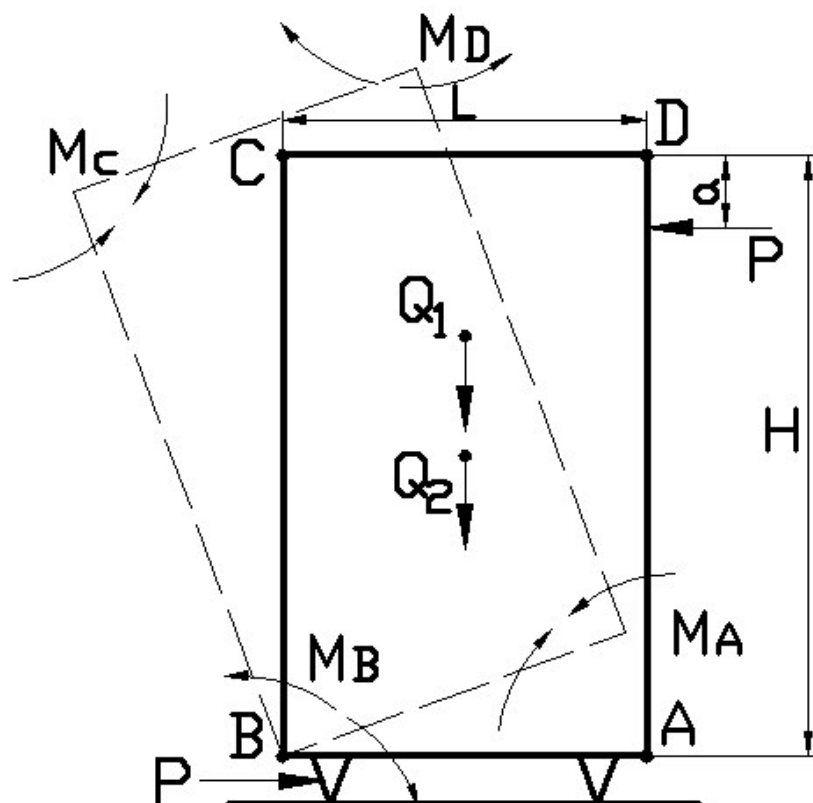


Рис. 5.2. Схема воздействия силы перемещения мебели на ее корпуса

При встрече ножки В с препятствием изделие наклоняется от действия силы Р, как показано штриховыми линиями. Величина силы, перемещающей изделие, определяется из выражения суммы моментов, возникающих относительно точки В, по формуле

$$P(H - a) = \frac{(Q_1 + Q_2)l}{2} g. \quad (5.4)$$

Действующая сила Р определяется по формуле

$$P = \frac{(Q_1 + Q_2)l}{2(H - a)} g, \quad (5.5)$$

где Q_1 – масса изделия (шкафа), кг;

Q_2 – масса хранимых вещей, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

l – ширина шкафа м;

H – высота корпуса шкафа, м;

a – расстояние от верха шкафа до места приложения действующей силы Р, м.

При наклоне шкафа под действием силы P он оторвется от пола двумя опорами, и в узлах A, B, C, D возникнут изгибающие моменты. Максимальный изгибающий момент будет в узле A и в общем виде рассчитывается по формуле

$$M_A = \frac{PH}{2K}, \quad (5.6)$$

где H – высота шкафа, м;

K – коэффициент, учитывающий размеры шкафа и точку приложения силы P , $K = 1,5 \dots 1,75$.

Расчетное поперечное сечение (толщина щита) в узле A определяется по формуле

$$\delta_{расч} = \sqrt{\frac{6M_A}{b m [\sigma_{изг}]}} \quad (5.7)$$

где $\delta_{расч}$ – расчетная необходимая толщина щита, мм;

b – ширина щита, м;

M_A – изгибающий момент в узле A , Н·м;

m – коэффициент, учитывающий время действия момента M_A . При кратковременном воздействии $m = 0,8$, при длительном воздействии $m = 0,2 \dots 0,4$;

$[\sigma_{изг}]$ – допускаемое напряжение при изгибе, МПа. Для плит, облицованных пленкой, – 25 МПа, шпоном – 30 МПа, пластиком – 35 МПа.

По полученному значению δ определяют, достаточна ли прочность корпуса из щитов расчетной и принятой толщины.

Пример расчета прочности корпуса шкафа (определение толщины стенок шкафа)

Исходные данные:

1. Масса корпуса шкафа с учетом массы дверок и ящиков с вещами $Q_1 = (90 + 20 + 40) = 150$ кг.
2. Масса хранимых вещей $Q_2 = 60$ кг.
3. Ширина шкафа $l = 0,8$ м.
4. Ширина стенки шкафа $b = 0,6$ м.
5. Высота шкафа $H = 2$ м.
6. Расстояние от верха шкафа до места приложения действующей силы $a = 0,5$ м.

Усилие перемещения (действующая кратковременная сила):

$$P = \frac{(Q_1 + Q_2)l}{2(H - a)}g = \frac{(150 + 60)0,8}{2(2 - 0,5)}10 = 560 \text{ Н}.$$

Изгибающий момент в точке А:

$$M_A = \frac{PH}{2K} = \frac{560 \cdot 2}{2 \cdot 1,75} = 320 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Расчетная толщина стенки шкафа, облицованной шпоном, составит:

$$\delta_{расч} = \sqrt{\frac{6Ma}{bm[\sigma_{изг}]}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 320}{0,6 \cdot 0,8 \cdot 30}} = 11,5 \text{ мм}.$$

При изготовлении шкафа из древесностружечной плиты стандартной толщиной 16 мм, облицованной шпоном, запас прочности составляет около 39 % ($16/11,5 = 1,39$).

Далее следует проверить прочность соединения вертикальных и горизонтальных щитов в корпусе шкафа или тумбы. Щиты соединяются стяжками или шкантами. Основную роль в разборной мебели играют стяжки, а шканты выполняют функцию фиксации точного положения щитов и придают корпусу дополнительную жесткость. Неразборные изделия собираются на шканты с клеем.

Если в узле А (см. рис. 5.2) установлено n стяжек, то каждая из них воспринимает часть момента M_A , определяемую по формуле

$$M_{cm} = \frac{M_A}{n}. \quad (5.8)$$

Усилие в стяжке P_{cm} , Н, противодействующее изгибающему моменту, определяется по формуле

$$P_{cm} = \frac{8Ma}{3\delta n}, \quad (5.9)$$

где δ – толщина щита, мм;

n – количество стяжек в узле А.

Такое же усилие распределяется по кромке части щита, которая находится в зоне действия стяжки по ширине, равной b/n , где b – ширина щита, м; n – количество стяжек.

Это усилие определяется по закону треугольника на участке по толщине щита, равном $0,5\delta$, как показано на рис. 5.3. При этом напряжение смятия, возникающее при усилнии $P_{ст}$, распределенного на площади

$\frac{\delta b}{2n}$, не должно превосходить допустимых напряжений на смятие для материала щитов $[\sigma_{смятия}]$.

Для древесностружечных плит допустимое напряжение на смятие вдоль пласти равно 6 МПа ($6 \cdot 10^{-6} \text{ Н/м}^2$), в данном случае – для вертикальной стенки, и 3 МПа ($3 \cdot 10^{-6} \text{ Н/м}^2$) – поперек пласти, т. е. для горизонтальной стенки.

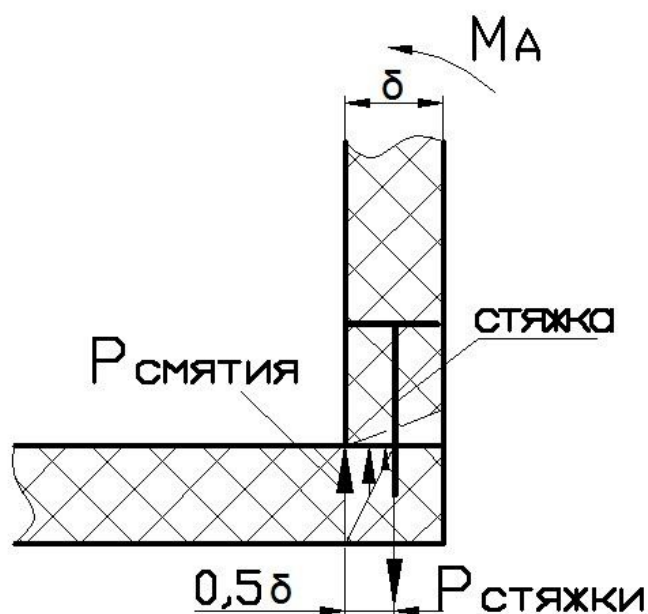


Рис. 5.3. Схема нагружения углового соединения

Расчетное напряжение смятия плиты определяется по формуле

$$\sigma_{расч} = \frac{2P_{см}}{\delta b} \leq [\sigma_{смятия}], \quad (5.10)$$

где $P_{см}$ – усилие в стяжке, Н;

δ – толщина стенки, м;

b – ширина стенки, м.

При проверке определяется принятая толщина стенок шкафа, которая должна быть больше расчетной:

$$\delta_{принят} = \frac{2P_{см}}{b[\sigma_{см}]}. \quad (5.11)$$

Пример расчета прочности соединений по толщине стенок шкафа

Исходные данные для расчета приведены на с. 21–22. Стенка шкафа имеет ширину 0,6 м, соединения – 2 стяжки.

Усилие смятия в стяжке:

$$P_{см} = \frac{8Ma \cdot 10^{-3}}{3\delta n} = \frac{8 \cdot 320 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 2 \cdot 0,016} = 26,7 \text{ Н.}$$

Расчетное напряжение смятия плиты:

$$\sigma_{расч} = \frac{2P_{см}}{\delta b} = \frac{2 \cdot 26,7 \cdot 10^{-3}}{0,016 \cdot 0,6} = 5,56 \text{ МПа} < [6 \text{ МПа}].$$

Расчетная толщина стенки шкафа:

$$\delta_{расч} = \frac{2P_{см}}{b[\sigma_{см}]} = \frac{2 \cdot 26,7}{0,6 \cdot [6]} = 14,8 \text{ мм} < [16 \text{ мм}].$$

Расчетное напряжение смятия и толщина стенки шкафа меньше принятых величин, поэтому стенки шкафа толщиной 16 мм, соединенные двумя стяжками, обеспечат прочность корпуса шкафа.

5.3. Расчет устойчивости и прочности вертикальных щитовых элементов (боковых стенок)

Для вертикальных элементов мебели (боковых стенок), критериями проверки на надежность являются предельные значения сжимающих нагрузок $P_{сж}$ и сжимающих напряжений $\sigma_{сж}$, которые определяются по формулам

$$P_{сж} = \frac{\pi^2 E_0 I_{min}}{(\mu l)^2 (1 + \varphi) K_3}, \quad (5.12)$$

$$\sigma_{сж} = \frac{\pi^2 E_0}{\lambda^2 (1 + \varphi) K_3}, \quad (5.13)$$

где E_0 – модуль упругости при статическом изгибе материала, МПа;

I_{min} – момент инерции сечения; $I_{min} = \frac{bh^3}{12}$, мм⁴;

μ – коэффициент приведенной длины;

l – длина элемента (высота стенки), м;

φ – коэффициент ползучести, $\varphi = 0,8$;

λ – коэффициент гибкости.

$$\lambda = \frac{\mu l}{r_{min}}, \quad (5.14)$$

где r_{min} – наименьший радиус инерции сечения, мм.

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{F}}, \quad (5.15)$$

где F – площадь сечения элемента в направлении, перпендикулярном направлению сжатия;

K_3 – коэффициент запаса прочности, $K_3 = 3$.

Коэффициент приведенной длины μ применяется в зависимости от способа закрепления элемента.

В изделиях мебели вертикальные стенки своими концами закрепляются, как правило, шарнирами и $\mu = 1$. Однако они всегда имеют дополнительные крепления по длине к задней стенке и промежуточным горизонтальным щитам. Поэтому при расчетах можно считать, что концы

вертикальной стенки хотя и закреплены шарнирно, но посередине длины она имеет дополнительное крепление, тогда $\mu = 0,699$.

Предельная нагрузка $P_{сж}$ определяется из условия устойчивости элементов при продольном сжатии (рис. 5.4). Это справедливо лишь при большой их длине. Для щитовых элементов большой длины расчет ведется при $\lambda \geq 100 \dots 110$.

При меньших значениях λ , т. е. при малой длине стенок, проверять их на устойчивость не следует, так как она всегда будет обеспечена.

Вся весовая нагрузка от горизонтальных стенок и хранящихся предметов передается через верхнюю горизонтальную кромку боковой стенки.

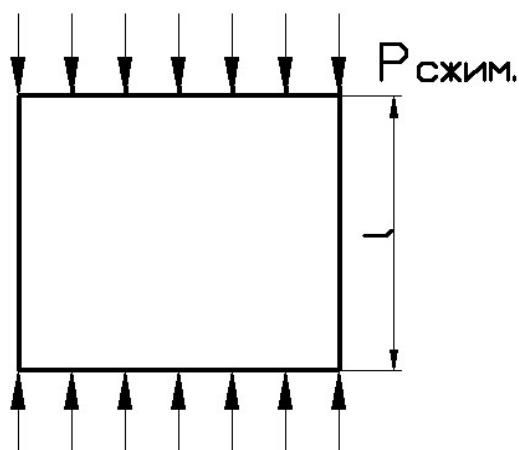


Рис. 5.4. Схема нагружения вертикальной стенки

Вся весовая нагрузка передается через верхнюю кромку боковой стенки, а дверки изделия в это время открыты. Три края стенки – один продольный и два поперечных – шарнирно оперты, оставшийся продольный край является свободным.

Пример расчета боковой стенки шкафа на прочность

Определить фактическую предельную нагрузку на боковую стенку книжного шкафа (рис. 5.5), которая изготовлена из древесностружечной плиты, облицованной строганым шпоном дуба. Ширина стенки $b = 300$ мм, высота $H = 1700$ мм, толщина $\delta = 16$ мм. Ширина шкафа $l = 800$ мм, количество полок $n = 5$. Удельная нагрузка на полку $q = 1200$ Н (120 кг).

Фактическая действующая нагрузка на одну боковую стенку шкафа определяется по формуле

$$P_{сж.факт} = \frac{q b l n}{2} = \frac{1200 \cdot 0,3 \cdot 0,8 \cdot 5}{2} = 720 \text{ Н.} \quad (5.16)$$

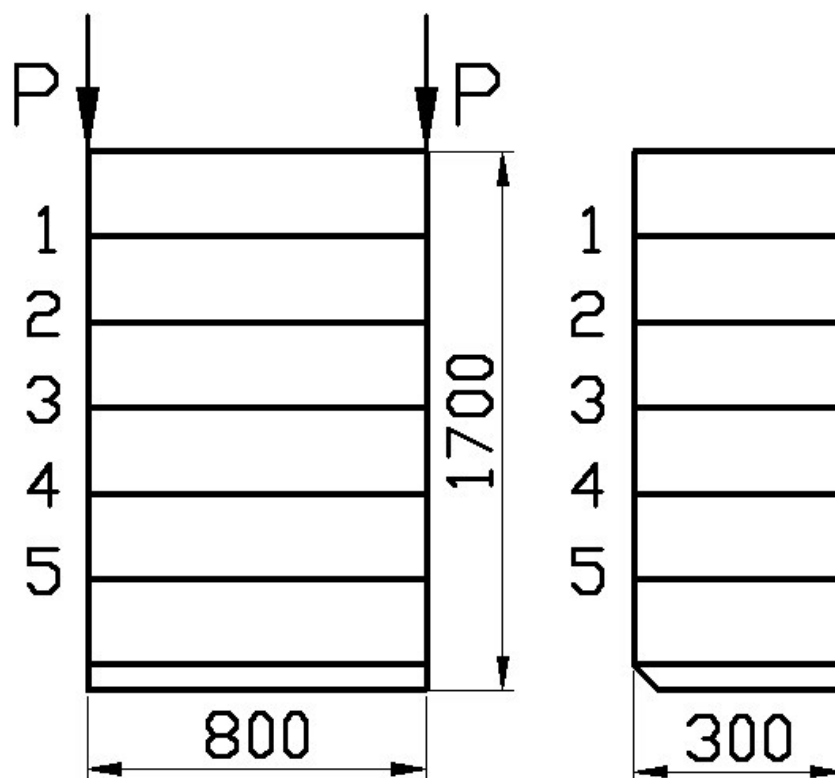


Рис. 5.5. Схема нагружения боковой стенки

Действующая нагрузка распределена по высоте стенки в 5 точках. Для упрощения расчета принимается, что она действует сосредоточенно и приложена к верхней кромке стенки, т. е. расчет выполняется в пользу запаса прочности.

Предельно допустимая сжимающая нагрузка рассчитывается при следующих параметрах:

- коэффициент приведенной длины $\mu = 0,699$;
- модуль упругости при статическом изгибе плиты $E_0 = 4500$ МПа;
- коэффициент ползучести $\varphi = 0,8$;
- коэффициент запаса прочности $K_3 = 3$.

$$P_{сж.пред} = \frac{3,14^2 \cdot 4500 \cdot 10^6 \cdot 0,3 \cdot 0,016^3}{(0,699 \cdot 1,7)^2 \cdot (1 + 0,8) \cdot 3 \cdot 12} = 596 \text{ Н} < 720 \text{ Н}.$$

Фактическая нагрузка намного превышает предельно допустимую сжимающую нагрузку, поэтому следует уменьшить нагрузку на полки или сократить длину полки, или увеличить толщину полки, например до 22 мм.

Предельно допустимая нагрузка на полку из плиты толщиной 22 мм составит:

$$P_{сж.пред} = \frac{3,14^2 \cdot 4500 \cdot 10^6 \cdot 0,3 \cdot 0,022^3}{(0,699 \cdot 1,7)^2 \cdot (1 + 0,8) \cdot 3 \cdot 12} = 1551 \text{ Н} > 720 \text{ Н}.$$

Таким образом, при толщине полок книжного шкафа 22 мм предельно допустимая нагрузка вдвое превышает фактическую нагрузку.

5.4. Расчет на прочность полок

Полки в шкафах и других изделиях корпусной мебели чаще всего могут быть двух видов (рис. 5.6):

- а) стационарные – крепятся жестко на стяжки и шканты (схемы 2, 3, 5, 6);
- б) переставные (съемные) – на полкодержателях (схемы 1, 4).

Полки могут быть из ДСтП, МДФ, фанеры, стекла. Они могут испытывать сосредоточенные нагрузки P (схемы 1, 2, 3) и равномерно распределенные q (схемы 4, 5, 6).

Максимальный прогиб полки при нагрузке оказывается в том месте, которое дальше всего находится от опор, т. е. примерно посередине полки.

Для горизонтальных элементов, например полки шкафа, критерием качества является жесткость – сохранение формы под нагрузкой. Особенно важно проверить возможную деформацию полок, т. е. их прогиб. Допустимая величина прогиба принимается из эстетических соображений и может составить 3 мм для видимых полок и 5 мм для полок за дверкой при длине полки $l = 1$ м, т. е. допустимый прогиб $f_{\text{доп}} \leq (3 \dots 5) l / 1000$.

Возможные напряжения и деформации (прогибы) определяются для всех 6 схем по формулам

$$\sigma = k \frac{Pl}{W}, \quad (5.17)$$

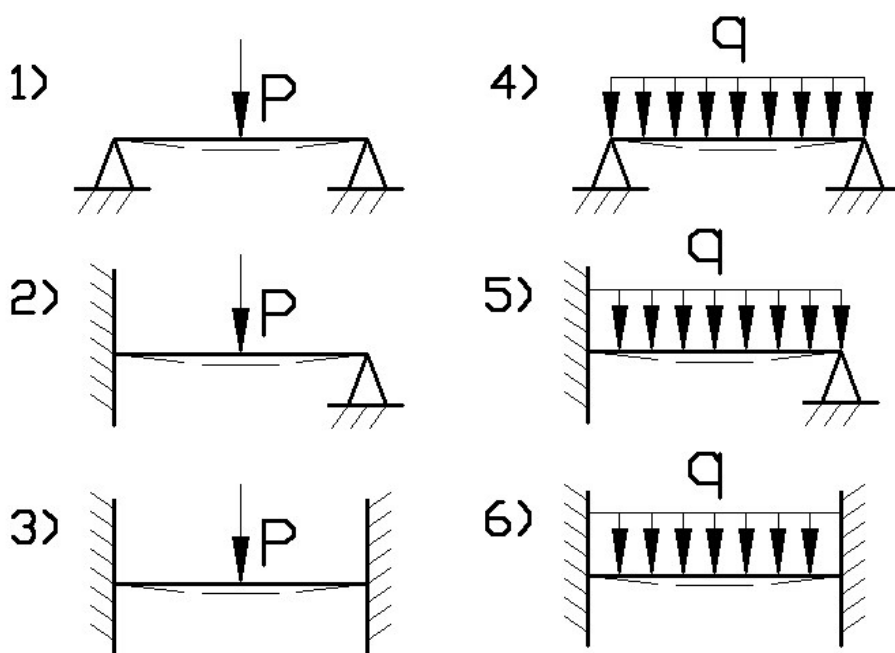


Рис. 5.6. Схемы крепления полок

$$f_{max} = c \frac{P l^3}{E I}, \quad (5.18)$$

где σ – максимальное нормальное напряжение, МПа;

f_{max} – максимальная стрела прогиба, мм;

P – сосредоточенная нагрузка для схем 1, 2, 3, а для схем 3, 4, 5 равномерно распределенная нагрузка $P = q_{уд} l b$, Н;

$q_{уд}$ – удельная нагрузка на единицу площади полки, Н/м²;

b и l – соответственно, ширина и длина полки, м;

W – момент сопротивления при изгибе, м³;

E – модуль упругости при статическом изгибе.

Для плит толщиной 16–18 мм $E = 2900$ Н/мм², толщиной 22 мм – $E = 2700$ Н/мм², толщиной 28, 32, 38 мм – $E = 2400$ Н/мм²;

I – момент инерции сечения, $I = \frac{bh^3}{12}$, мм⁴;

k, c – коэффициент, учитывающий схему нагружения (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Величина коэффициентов

Коэффициент	Схема нагружения					
	1	2	3	4	5	6
k	1/4	3/16	1/8	1/8	1/8	1/12
c	1/48	1/107	1/192	5/384	1/192	1/384

Величина удельной нагрузки $q_{уд}$, создаваемой различными предметами потребления на полку:

- 1) полки для головных уборов и легких предметов, сумок – 20 кг/м²;
- 2) полки для посуды, белья, продуктов – 60 кг/м²;
- 3) полки для суши посуды – 40 кг/м²;
- 4) полки для книг:
 - ширина полки до 300 мм – 70 кг/м²;
 - ширина полки > 300 мм – 90–120 кг/м²;
- 5) полки для декоративных предметов – 15 кг/м².

Пример расчета на прочность полки шкафа

Исходные данные

Переставная полка книжного шкафа изготовлена из облицованной древесностружечной плиты толщиной $h = 16$ мм. Длина полки $l = 800$ мм, ширина $b = 350$ мм. Удельная равномерно распределенная нагрузка по всей площади полки $q = 90$ кг/м².

Требуется определить величину прогиба полки (схема нагружения 4).

1. Величина распределенной нагрузки составит:

$$P = q_{\text{уд}} lb = 50 \cdot 0,8 \cdot 0,35 = 14,0 \text{ кГ} = 140 \text{ Н}.$$

2. Расчетный прогиб полки составляет:

$$f_{\text{расч}} = c \frac{Pl^3}{EI} = \frac{5}{384} \cdot \frac{140 \cdot 800^3}{2900 \cdot 119467} = 2,69 \text{ мм}.$$

Момент инерции:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{350 \cdot 16^3}{12} = 119467 \text{ мм}^4.$$

3. Допускаемый прогиб полки длиной 800 мм.

$$f_{\text{дон}} = 3 \cdot 0,8 = [2,4] \text{ мм} < 2,69 \text{ мм для открытой полки}.$$

$$f_{\text{дон}} = 5 \cdot 0,8 = [4] \text{ мм} > 2,69 \text{ мм для полки за дверкой}.$$

Расчетный прогиб открытой полки книжного шкафа превышает допускаемый прогиб на 0,29 мм, поэтому необходимо уменьшить нагрузку или длину полки или увеличить толщину и ширину полки. Можно дополнительно крепить полку к задней стенке или сделать дополнительную опору.

Пример расчета на прочность крышки стола

Исходные данные

Крышка стола изготовлена из облицованной древесностружечной плиты толщиной 22 мм. Длина крышки 1000 мм, ширина 600 мм, расстояние между опорами 1000 мм. Нагрузка сосредоточенная 1000 Н (100 кг). Схема нагружения – 3. Требуется определить прогиб крышки стола.

1. Расчетный прогиб крышки:

$$f_{\text{расч}} = c \frac{Pl^3}{EI} = \frac{1}{192} \cdot \frac{1000 \cdot 1000^3}{2700 \cdot 532400} = 3,62 \text{ мм}.$$

Момент инерции:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{600 \cdot 22^3}{12} = 532400 \text{ мм}^4.$$

2. Допускаемый прогиб крышки стола согласно ГОСТ 16371-2014 «Мебель. Общие технические условия» составляет 10 мм.

Расчетный прогиб 3,62 мм намного меньше допускаемого прогиба 10 мм, что свидетельствует о высокой прочности крышки стола.

Аналогично рассчитывается прочность горизонтальных стенок корпусной мебели, сидений скамеек, крышек тумб, многих столов и других подобных изделий.

5.5. Расчет прочности крепления дверки с вертикальной осью вращения

Дверки являются самым ответственным элементом изделий корпусной мебели, так как определяют ее внешний вид. При пользовании изделием дверки многократно открываются и закрываются, поэтому важно обеспечить необходимую прочность крепления их к корпусу. Петли крепятся в основном шурупами. Крепление петель шурупами к кромкам древесностружечных плит без специального упрочнения кромок не может обеспечить требуемой жесткости и прочности. Поэтому к кромкам плиты шурупами крепят только рояльные петли, в остальных случаях петли крепят к пласти плиты.

На рис. 5.7 показано распределение сил и реакций в петлях дверки.

В нижней петле (точка А) возникает реакция R_A от воздействия внешней нагрузки P и массы двери $q_{дв}$. Реакция R_B создает момент, уравновешивающий момент от названных сил относительно точки А.

Пользуясь правилом моментов сил, можно написать уравнение равновесного действия внешних сил и реакций в опорах относительно точки А:

$$R_B (H - 2a) = P(b - 50) + q_{дв} \frac{b}{2} g, \quad (5.19)$$

$$R_A - q_{дв} - P = 0 \quad (5.20)$$

Реакция R_A в петле А обеспечивается смятием древесины шурупами, которыми эта петля закреплена. Наибольшее контактное давление шурупов в петле А на стену корпуса определится из уравнения

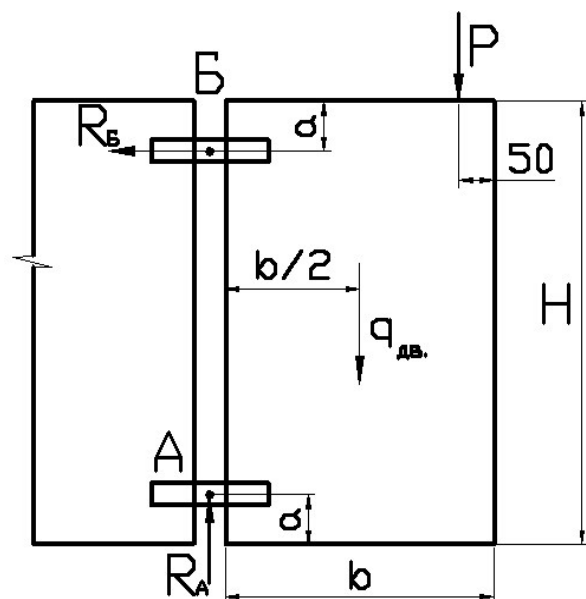


Рис. 5.7. Схема расчета прочности крепления дверки с вертикальной осью вращения
 H – высота дверки; b – ширина дверки;
 a – расстояние от петли до кромки дверки; P – внешняя нагрузка (табл. 5.2); $q_{дв}$ – масса дверки;
 R_A и R_B – реакция в нижней и верхней петлях

$$\sigma_{max} = 9,65 \frac{g q_{дв} + P}{dln} \leq 0,7 [\sigma_{смятия}], \quad (5.21)$$

где $q_{дв}$ – масса двери, кг;

g – ускорение свободного падения, $м/с^2$;

P – внешнее вертикальное усилие, определяется по табл. 5.2 в зависимости от высоты дверки, Н;

d – диаметр шурупа, м;

l – длина шурупа, м;

n – количество шурупов;

$[\sigma_{смятия}]$ – предел прочности материала стенки корпуса на смятие металлом, МПа. Для древесностружечных плит $[\sigma_{смятия}] = 6$ МПа, для сосны – 2,5 МПа, для дуба – 8,0 МПа.

Прочность петли Б обеспечивается усилием удерживания шурупов материалом стенки. Это условие запишется выражением

$$R_6 = \pi dh [\sigma_{ш}] n, \quad (5.22)$$

где d – диаметр шурупа, м;

h – длина нарезной части шурупа, м;

n – количество шурупов;

$[\sigma_{ш}]$ – шурупоудерживающая способность материала. Для древесины $\sigma_{ш} = 1,5$ МПа, для древесностружечных плит в кромке – 0,5 МПа, в пласти – 0,8 МПа.

Таблица 5.2

Вертикальная нагрузка на дверку

Высота дверки Н, мм	Величина вертикальной нагрузки Р, Н
До 800	120
От 801 до 1200	180
Свыше 1200	240

Дверь может крепиться рояльной петлей с шагом шурупов $H/n+1$, где H – высота двери, мм; n – количество шурупов.

В этом случае для упрощения расчетов можно допустить, что реакция R_6 в основном распределится между несколькими шурупами по схеме, приведенной на рис. 5.8.

При этом $R_B = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$.

Приняв как значимые первые три члена этого ряда, получим:

$$R_B > R_n + R_6 + R_5, \text{ и учтя, что}$$

$$\frac{R_n}{R_6} = \frac{H}{H - \frac{H}{n+1}}, \quad a \frac{R_6}{R_5} = \frac{H - \frac{H}{n+1}}{H - \frac{2H}{n+1}},$$

получим после преобразования

$$R_B = R_n \frac{3n}{n+1}. \quad (5.23)$$

Отсюда получим усилие, выдергивающее первый сверху шуруп:

$$R_n = \frac{R_6 (n+1)}{3n}. \quad (5.24)$$

Зная размеры шурупа и шурупоудерживающую способность материала $[\sigma_{ш}]$, получим:

$$R_n \leq \pi d h [\sigma_{ш}]. \quad (5.25)$$

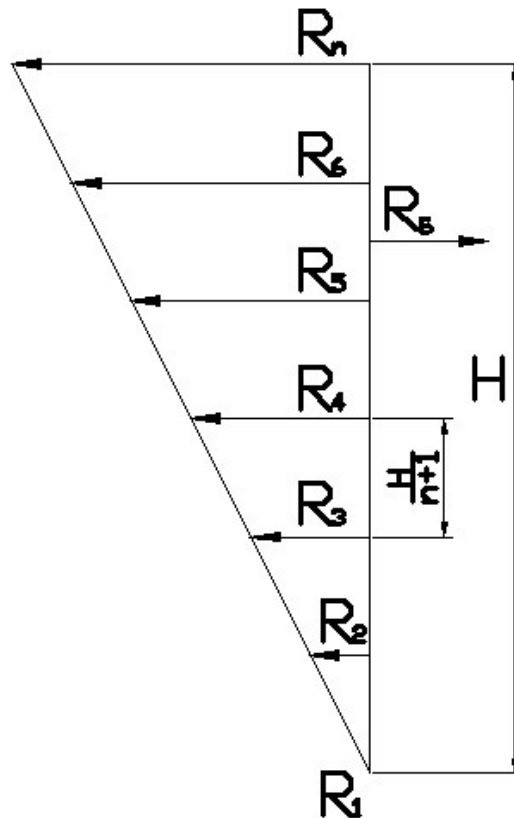


Рис. 5.8. Схема распределения сил реакции R_B между шурупами

При креплении дверей на пятниковых, карточных или четырехшарнирных петлях можно допустить, что реакция R_B воспринимается только в верхней петле и распределяется равномерно на все шурупы крепления этой петли.

Пример расчета 1

Дверь шкафа массой $q_{\text{дв}} = 20$ кг шириной $b = 600$ мм и высотой $H = 1700$ мм прикреплена рояльной петлей к пласти и кромке древесностружечной плиты 13 шурупами диаметром 3 мм с длиной нарезки резьбы 15 мм.

Требуется определить, какой запас прочности имеет крепление двери.

Реакция R_B определяется из уравнения моментов (5.19) с учетом того, что для рояльной петли условно расстояние до первого шурупа $a = 0$.

$$R_B = \frac{P(b-50) + q_{\text{дв}} \frac{b}{2} g}{H} = \frac{240(600-50) + 20 \frac{600}{2} 10}{1700} = 112,9 \text{ Н}.$$

Усилие выдергивания, действующее на первый верхний шуруп, определяется из уравнения (5.24):

$$R_n = \frac{R_{\bar{o}}(n+1)}{3n} = \frac{112,9(13+1)}{3 \cdot 13} = 40,5 \text{ Н}.$$

Прочность шурупа диаметром 3 мм и длиной 20 мм на выдергивание из пласти щита определится по формуле (5.22):

$$R_{\text{ш}} = \pi d h [\sigma_{\text{ш}}] = 3,14 \cdot 0,003 \cdot 0,015 \cdot [0,8] \cdot 10^6 = 113,04 \text{ Н}.$$

Коэффициент запаса прочности составит:

$$\frac{R_{\text{ш}}}{R_n} = \frac{113,04}{40,5} = 2,79.$$

Прочность шурупа на выдергивание из кромки щита составит 70,65 Н, а коэффициент запаса прочности – 1,74.

С учетом условного распределения реакции R_B только на три верхних шурупа полученный запас прочности, распределенный на все шурупы, будет достаточным, гарантирующим прочность крепления дверки шкафа.

Наиболее часто для навешивания дверей корпусной мебели из плитных материалов используются четырехшарнирные петли, которые крепятся шурупами к пласти щитов.

Пример расчета 2

Дверь шкафа массой $q_{\text{дв}} = 15$ кг шириной $b = 450$ мм и высотой $H = 1750$ мм прикреплена к боковой стенке тремя четырехшарнирными петлями. Каждая чашка петли крепится двумя шурупами диаметром 3 мм с длиной нарезки $h = 15$ мм.

Требуется определить прочность крепления дверки.

Реакция в нижней петле

$$R_B = \frac{P(b-50) + q_{\text{дв}} \frac{b}{2} g}{H - 2a} = \frac{240(450-50) + 15 \frac{450}{2} 10}{1750 - 100 \cdot 2} = 83,7 \text{ Н}.$$

Усилие, действующее на верхний шуруп:

$$R_1 = \frac{R_B (n+1)}{3n} = \frac{83,7 \cdot (2+1)}{3 \cdot 2} = 41,9 \text{ Н}.$$

Прочность шурупа на выдергивание из пласти дверки из древесностружечной плиты $R_{ш} = 113,04 \text{ Н}$ (см. пример 1), что намного больше усилия, действующего на шуруп.

Коэффициент запаса прочности составляет $\frac{113,04}{41,9} = 2,7$.

5.6. Расчет прочности крепления задней стенки

Задние стенки в изделиях корпусной мебели в основном крепятся шурупами с шагом 100–150 мм внакладку на кромки вертикальных и горизонтальных стенок.

Задние стенки обеспечивают жесткость и формоустойчивость корпуса, что особенно важно при перемещении шкафа. При нарушении связи задней стенки с другими элементами, образующими корпус, жесткость изделия резко снижается. Поэтому при конструировании корпусных изделий мебели производится расчет прочности крепления задней стенки к боковым и горизонтальным стенкам корпуса.

При расчете крепления задней стенки для упрощения можно предположить, что она является дискретной и состоит из отдельных участков, имеющих опоры в местах заворачивания шурупов. При перемещении изделия в горизонтальной плоскости под действием силы P задняя стенка находится в состоянии чистого сдвига (см. рис. 5.1).

Элементарное дискретное усилие на каждом участке стенки определяется как $S = P/b$, где b – ширина стенки в направлении действия силы P .

При оптимальном креплении стенки усилия на каждый шуруп на вертикальных и горизонтальных кромках корпуса должны быть равны.

Наибольшая интенсивность распределенной нагрузки по ширине шурупа q_{\max} определяется по формуле

$$q_{\max} = 7,6 \frac{P}{l}, \quad (5.26)$$

где P – усилие, приходящееся на шуруп, Н;

l – длина шурупа, мм.

Наибольшее контактное давление шурупа на стенку σ_{\max} составляет:

$$\sigma_{\max} = 9,65 \frac{P}{d l}, \quad (5.27)$$

где d – наибольший диаметр шурупа в нарезанной части, мм;

l – длина шурупа, мм;

P – нагрузка сдвига, Н.

Опасным сечением шурупа является сечение, находящееся от его конца на расстоянии $0,38l$, а наибольшие нормальные напряжения в этом сечении определяются по формуле

$$\sigma_{\text{max изг шурупа}} = \frac{5,8 Pl}{D^3 \left(0,38 + 0,62 \frac{d}{D} \right)^3} < [\sigma_{\text{изг}}], \quad (5.28)$$

где $[\sigma_{\text{изг}}]$ – допускаемое напряжение для материала шурупа при изгибе, МПа;

D – диаметр шурупа у головки, мм.

Условие прочности крепления задней стенки шурупами определяется по формуле

$$[\sigma_{\text{см}}] > \frac{9,65P}{dl}, \quad (5.29)$$

где $[\sigma_{\text{см}}]$ предел прочности на смятие основы, в которую ввинчивается шуруп. Для ДСтП $= 6 \text{ МПа} = 600 \text{ Н/мм}^2$.

Опыт показывает, что горизонтальные нагрузки на корпус изделия в основном воспринимает задняя стенка. При этом основную часть усилия P воспринимает первый верхний от боковой стенки шуруп – 60 %, второй – 30 %, третий – 10 % этой нагрузки. Исходя из этих соображений, усилие, действующее на первый верхний шуруп, будет равно $0,6 P$.

Пример расчета

Задняя стенка шкафа закреплена шурупами длиной 25 мм и диаметром 3,5 мм в нарезанной части. Усилие перемещения шкафа составляет 560 Н.

Требуется определить прочность на смятие горизонтальной стенки из древесностружечной плиты.

Усилие сдвига, приходящееся на первый шуруп:

$$P_1 = 0,6 \cdot 560 = 336 \text{ Н}.$$

Расчетная прочность плиты на смятие:

$$\sigma_{\text{смят}} = \frac{9,65P}{dl} = \frac{9,65 \cdot 336}{3,5 \cdot 25} = 37,06 \text{ Н / мм}^2.$$

Расчетное смятие намного меньше допускаемого предела прочности на смятие древесностружечной плиты 600 Н/мм^2 .

Контроль качества крепления задней стенки к корпусу показывает, что в местах установки шурупов в кромках щитов боковых стенок часто возникают многочисленные трещины, которые существенно снижают жесткость корпуса.

Причиной появления трещин являются растягивающие напряжения в ДСтП около контуров отверстий под шурупы, возникающие при их завинчивании, если неправильно выбраны шурупы или шаг их расстановки.

Часто шурупы не вворачиваются, а вбиваются молотком, что недопустимо. Под шурупы необходимо сверлить отверстия, что никто не делает. Для предупреждения прорывания древесноволокнистых плит при заворачивании шурупов следует применять металлические шайбы.

5.7. Расчет прочности штанги-вешалки для одежды

В условиях нормальной эксплуатации шкафов для одежды штанги-вешалки, которые обычно изготавливаются из древесины твердолиственных пород или металлической трубы и имеют круглое или овальное сечение, постоянно находятся под действием нагрузки, равномерно распределенной по длине штанги.

Удельная эксплуатационная нагрузка на штангу-вешалку в соответствии с техническими требованиями составляет 30 да Н/м (30 кг/м).

Максимальный изгибающий момент (M_{max}) в среднем опасном сечении штанги-вешалки определяется по формуле

$$M_{max} = \frac{q_{y\partial} l^2}{8}, \quad (5.30)$$

где $q_{y\partial}$ – удельная эксплуатационная нагрузка, Н/м;

l – длина штанги, м.

Наибольшие нормальные напряжения σ_{max} в сечении штанги определяются по формуле

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W}, \quad (5.31)$$

где W – момент сопротивления сечения штанги, м³.

$$W = \frac{\pi R^3}{4}, \quad (5.32)$$

где R – радиус поперечного сечения штанги, м.

После преобразования формул наибольшее нормальное напряжение определяется по формуле

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W} = \frac{q l^2 10^2}{2\pi R^3}. \quad (5.33)$$

Условие прочности штанги запишется по формуле

$$\sigma_{max} \leq [\sigma_{\partial on}], \quad (5.34)$$

где $[\sigma_{\partial on}]$ – допускаемое напряжение при изгибе для материала, из которого изготовлена штанга-вешалка.

Максимальный прогиб штанги-вешалки в среднем сечении определяется по формуле

$$f_0 = \frac{5 q_{y\partial} l \varphi}{384 E_{\partial} J_z}, \quad (5.35)$$

где $q_{y\partial}$ – удельная эксплуатационная нагрузка, 30 Н/м;

l – длина штанги, м;

E_{∂} – длительный модуль упругости материала штанги-вешалки, МПа.

Для древесины хвойных пород $E_{\partial} = 6551$ МПа, для древесины березы $E_{\partial} = 9170$ МПа;

φ – коэффициент длительности нагрузки. Для древесины хвойных и лиственных пород $\varphi = 0,45$;

J_z – момент инерции сечения штанги, м⁴.

Для сосны произведение $E_{\partial} J_z = 0,22$ Н, а для березы – 0,31 Н.

Допускаемый прогиб штанги-вешалки длиной 1 м составляет 8 мм.

Пример расчета

Штанга-вешалка длиной 0,9 м и диаметром 40 мм изготовлена из древесины березы. Эксплуатационная нагрузка на 1 м длины штанги – 30 кг (300 Н).

Определить расчетный прогиб и прочность штанги-вешалки.

Максимальный расчетный прогиб штанги-вешалки

$$f_0 = \frac{5 q_{y\partial} l \varphi}{384 E_{\partial} J_z} = \frac{5 \cdot 300 \cdot 0,9 \cdot 0,45}{384 \cdot 0,31} = 5,1 \text{ мм} < [8 \text{ мм}].$$

Наибольшее расчетное нормальное напряжение

$$\sigma = \frac{q l^2 10^2}{2\pi R^3} = \frac{30 \cdot 0,9^2 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5^3} = 24,76 \text{ МПа}.$$

Расчетный прогиб штанги-вешалки 5,1 мм меньше допускаемого прогиба, равного 8 мм. Расчетное нормальное напряжение 24,76 МПа не превышает допускаемого напряжения на изгиб древесины березы, равного 110 МПа. Выбранные длина и диаметр штанги-вешалки обеспечивают требуемую прочность при эксплуатации.

5.8. Расчет жесткости крышки стола

Крышка стола при эксплуатации подвержена преимущественно статическому изгибу, и преобладающим является поперечный изгиб. Критерием качества крышки стола является жесткость. Деформация крышки стола (прогиб) принимается из эстетических соображений, т. е. не должна быть заметной глазу и не может быть более 3–5 мм на длине 1 м. Схема нагружения крышки стола показана на рис. 5.9.

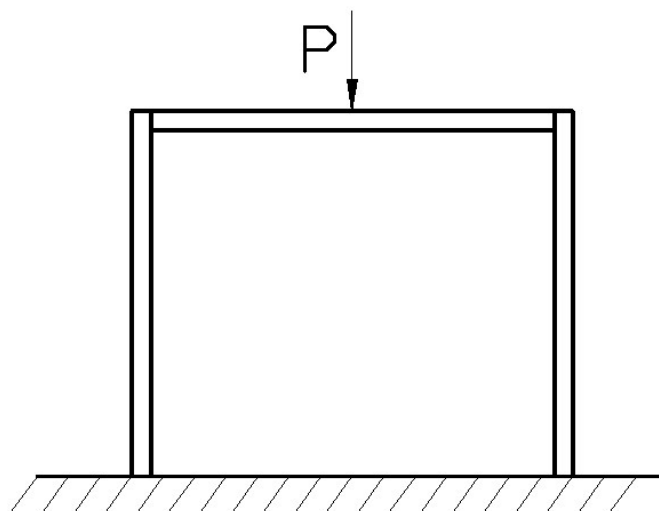


Рис. 5.9. Схема нагружения крышки стола

Максимальные напряжения в изгибаемой крышке определяются по формуле (5.36), а прогиб крышки под нагрузкой – по формуле (5.37).

$$\sigma = K \frac{Pl}{W}; \quad (5.36)$$

$$f = C \frac{Pl^3}{EI}; \quad (5.37)$$

где σ – максимальные нормальные напряжения, МПа;

f – максимальная стрела прогиба, мм;

P – сосредоточенная нагрузка;

W – момент сопротивления, см³;

E – модуль упругости при изгибе, МПа;

I – момент инерции сечения элемента, см⁴;

K, C – коэффициенты, учитывающие схему нагружения. Для 3-й схемы нагружения $K = 1/8$ и $C = 1/192$.

Пример расчета

Определим величину прогиба крышки компьютерного стола, изготовленной из ламинированной древесностружечной плиты толщиной 16 мм. Длина крышки 1200 мм, ширина 600 мм.

Принимаем модуль упругости при изгибе древесностружечной плиты $E = 4500$ МПа, сосредоточенная нагрузка $P = 600$ Н.

Прогиб f будет равен:

$$f = C \frac{Pl^3}{EI} = \frac{1}{192} \frac{600 \cdot 1,2^3 \cdot 12}{4500 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 0,016^3} = 5,86 \text{ мм.}$$

Расчетный прогиб крышки стола 5,86 мм больше допускаемого прогиба, равного 5 мм, что свидетельствует о недостаточной жесткости крышки стола.

Следовательно, крышку стола необходимо упрочнить, для этого можно увеличить толщину крышки стола или установить дополнительный опорный элемент в виде ребра жесткости под крышкой стола.

При увеличении толщины крышки стола до 22 мм расчетный прогиб составит 2,25 мм, что более чем в два раза меньше допускаемого прогиба.

5.9. Проверочный расчет ящиков

Выдвижные ящики в корпусных изделиях мебели (шкафах, письменных столах, комодах, тумбах и т.п.) представляют собой сборочные единицы, перемещаемые в горизонтальном направлении по глубине корпуса и предназначенные для хранения мелких предметов, бумаг, белья и других вещей.

Ящики изготавливаются из массивной древесины и древесностружечных плит и состоят, как правило, из четырех соединенных между собой стенок и дна. Стенки ящика собираются в жесткий корпус в зависимости от вида материала на прямые или ящичные шипы, шурупы, стяжки. Дно ящика выполняется из фанеры, МДФ или твердых древесноволокнистых плит, которые должны быть облицованы или отделаны.

Чаще всего ящик разрушается в месте крепления передней стенки ящика или происходит деформация (прогиб) дна ящика.

Расчет прочности крепления передней стенки ящика

Прочность крепления передней и боковых стенок выдвижных ящиков из пиломатериалов должна соответствовать нормируемому значению отрыва – не менее 250 Н.

Схема испытания и расчета прочности соединения передней стенки ящика и боковых стенок по ГОСТ 19203-73 показана на рис. 5.10.

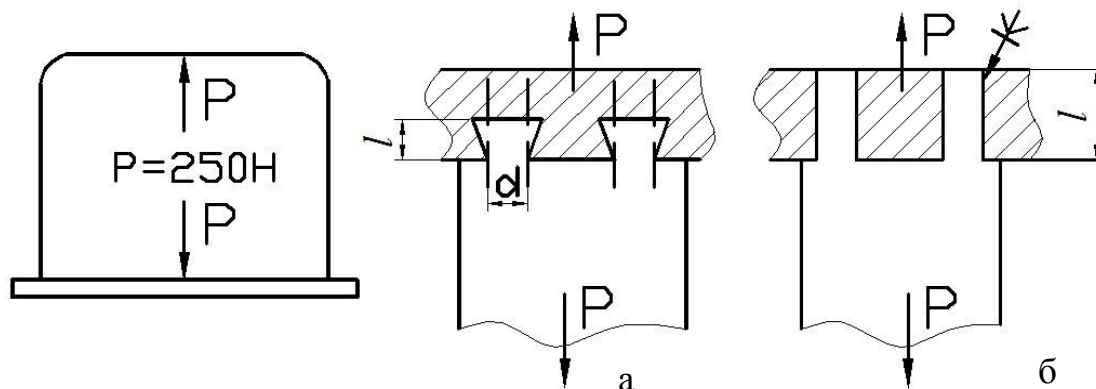


Рис. 5.10. Схема испытания прочности крепления передней стенки ящика:
 l – длина шипа; d – размер шипа в узкой части; P – разрушающая нагрузка

Исследования прочности ящичных шиповых соединений показали, что разрушение шипов ящичных «ласточкин хвост» наступает в результате скалывания по древесине, как показано штриховой линией на рис. 5.10, а), а прямых шипов (рис. 5.10, б) – по клеевому слою ($\tau_{\max} = 1,0$ МПа).

Условие прочности углового шипового соединения для этих случаев может быть представлено выражением

$$\sigma = \frac{5 \cdot 10^4}{\pi d l n} \leq [6 \text{ МПа}], \quad (5.38)$$

где d – размер (толщина) шипа в нижней части, мм;

l – длина шипа, мм;

n – количество шипов по ширине передней стенки ящика;

$[6 \text{ МПа}]$ – необходимый предел прочности, МПа.

Пример расчёта

Стенки ящика собираются на шипы толщиной 16 мм и длиной 20 мм. Количество шипов – 10.

Прочность углового соединения:

$$\sigma = \frac{5 \cdot 10^4}{\pi d l n} = \frac{5 \cdot 10^4}{3,14 \cdot 16 \cdot 20 \cdot 10} = 4,98 \text{ МПа} < [6 \text{ МПа}].$$

Выбранные размеры и количество шипов обеспечивают требуемую прочность углового шипового соединения.

Расчет дна ящика на деформативность

При длительной эксплуатации мебельных изделий часто бывает прогиб дна ящика, поэтому необходим проверочный расчет дна ящиков на деформативность. Максимальный прогиб дна ящика будет в точке, максимально удаленной от его опор. При этом прогиб зависит от характера крепления дна ящика, нагрузки, свойств материала и размеров ящика.

Крепление дна может рассматриваться как защемленное, если дно крепится к стенкам ящика шурупами или клеем, или как свободноопертое, если дно вставлено в пазы стенок ящика.

Свободноопертое по контуру дно имеет прогиб в 1,5–2 раза выше, чем аналогичное с жестким креплением к кромкам корпуса ящика.

Деформация (прогиб) дна мебельного ящика определяется по формуле

$$f_{\max} = \frac{2qa^4(1-\mu^2)}{E\delta^3} \text{ км}, \quad (5.39)$$

где f_{\max} – максимальный расчетный прогиб дна ящика, мм;

q – масса хранимых в ящике вещей, распределенная равномерно по дну ящика, кг, определяется в зависимости от объема ящика и удельной эксплуатационной нагрузки на дно ящика для белья – 200 кг/м^3 , для бумаг – 400 кг/м^3 , для мелких предметов – 150 кг/м^3 ;

α – наибольший размер дна (длина или ширина), мм;

μ – коэффициент Пуассона для материала дна ящика в направлении размера a . Для древесноволокнистых плит $\mu = 0,4$;

E – модуль упругости при изгибе материала, МПа;

δ – толщина дна ящика, мм;

k – коэффициент, зависящий от условия закрепления дна и соотношения размеров дна по длине и ширине. При свободноопертом дне и близких между собой размерах дна $k = 0,25$. При защемленном дне $k = 0,1 \dots 0,15$;

m – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки. При постоянной длительной нагрузке на дно ящика $m = 1$. При длительной эксплуатации мебели с переменными сезонными условиями изменения влажности $m = 1,5 \dots 2,0$.

Максимальный расчетный прогиб дна ящика должен быть менее допускаемого, равного $a/200$ мм.

Пример расчета

Дно ящика размером 400×500 мм свободноопертое изготовлено из древесноволокнистой плиты толщиной $3,2$ мм с коэффициентом Пуассона $\mu = 0,4$, модулем упругости при изгибе $E = 10^4$ МПа. Нагрузка на дно 50 кг.

Максимальный расчетный прогиб дна ящика

$$f_{\max} = \frac{2q a^4 (1 - \mu^2)}{E \delta^3} k m = \frac{2 \cdot 50 \cdot 500^4 (1 - 0,4^2)}{10^4 \cdot 3,2^3 \cdot 10^6} 0,25 \cdot 1 = 4,01 \text{ мм.}$$

Допускаемый прогиб дна ящика

$$f_{\text{дон}} = \frac{a}{200} = \frac{500}{200} = 2,5 \text{ мм.}$$

Расчетный прогиб дна ящика $4,01$ мм больше допускаемого прогиба $2,5$ мм в $1,6$ раза. Для уменьшения прогиба следует уменьшить нагрузку на ящик или изменить свободноопертую схему крепления дна ящика на защемленную, т. е. жестко крепить дно к стенкам корпуса шурупами, что позволит снизить расчетный прогиб примерно в 2 раза – до $2,0$ мм, что будет меньше допускаемого $2,5$ мм. При таком конструктивном решении изделие по прогибу дна ящика будет соответствовать установленным требованиям.

5.10. Расчет устойчивости обеденного стола

Устойчивость обеденного стола – это его способность сопротивляться опрокидыванию при неправильной конструкции и неблагоприятных условиях эксплуатации (большой свес крышки стола и нагрузка на край крышки). Обеденные столы трансформируемые и с раздвижным подстольем, а также

столы, у которых после трансформации свес крышки уменьшается (столы-тумбы), являются заведомо устойчивыми и на устойчивость не рассчитываются и не испытываются. Схема испытания обеденного стола на устойчивость приведена на рис. 5.11.

Подстолье стола – это опора, состоящая из четырех ножек, царг, а также ящиков, полок, находящихся внутри царгового пояса.

Стол считается выдержавшим испытание, если в момент приложения нагрузки он не теряет устойчивости, т. е. не начинает наклоняться, опираясь на две ножки.

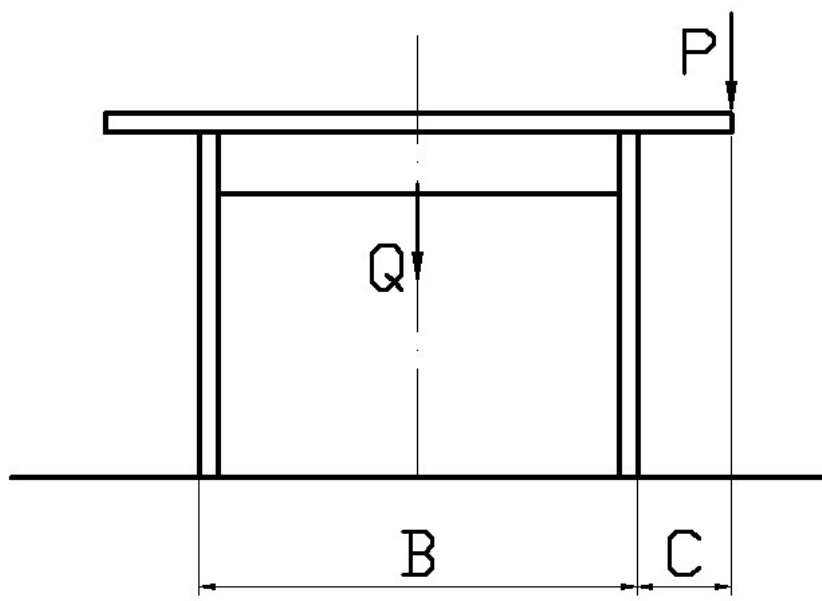


Рис. 5.11. Схема испытания обеденного стола на устойчивость

P – вероятная статическая нагрузка на край крышки стола, Н;

B – длина или ширина подстолья стола, мм;

C – свес крышки стола, мм

При конструировании обеденных столов устойчивость ориентировочно определяется расчетным путем по формуле

$$PC \leq \left(Q \frac{B}{2} \right), \quad (5.39)$$

где P – вертикальная нагрузка, равная 150 Н;

C – свес крышки стола, мм;

B – длина или ширина подстолья стола (расстояние между опорами стола с учетом их толщины), мм;

Q – масса стола, кг.

Исходя из условия неопрокидывания стола, можно определить максимально допустимый свес крышки по формуле

$$C \leq \left(\frac{QB}{2P} \right), \quad (5.41)$$

Пример расчета

Стол обеденный массой 16 кг с длиной подстоля 900 мм и шириной 600 мм. Свес крышки стола по периметру 200 мм.

Требуется определить устойчивость стола в продольном и поперечном направлениях при нагрузке 15 кг на край крышки стола.

Расчетный свес крышки стола (продольное направление):

$$C_{\text{прод}} = \left(\frac{QB}{2P} \right) = \frac{16 \cdot 900}{2 \cdot 15} = 480 \text{ мм.}$$

Расчетный свес крышки стола (поперечное направление):

$$C_{\text{попер}} = \left(\frac{QB}{2P} \right) = \frac{16 \cdot 600}{2 \cdot 15} = 320 \text{ мм.}$$

Расчетный возможный свес крышки стола по всему периметру составляет 480 и 320 мм, что значительно больше конструктивно принятого свеса 150 мм. Таким образом, данный обеденный стол устойчив при эксплуатации.

5.11. Расчет крепления спинок кроватей

Каркасы кроватей обычно состоят из боковых царг и спинок, соединенных между собой с помощью соответствующей фурнитуры. Необходимая прочность крепления царг со спинками кроватей нормируется ГОСТ 17340-87 «Мебель для сидения и лежания. Методы испытаний на прочность и долговечность кроватей» (рис. 5.12).

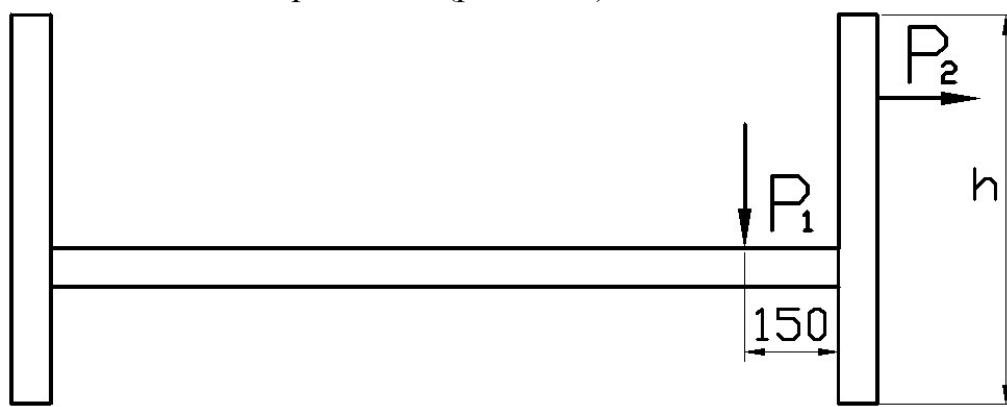


Рис. 5.12. Схема испытания прочности крепления спинки кровати с царгами каркаса

Нагрузка на царгу $P_1 = 1000 \text{ Н}$, на спинку кровати $P_2 = \frac{240}{h} \text{ Н}$,

где h – высота спинки, м.

Стяжка, соединяющая царгу со спинкой, крепится к спинке несколькими шурупами. Момент от действия силы P_2 будет восприниматься верхними шурупами стяжки, как показано на схеме рис. 5.13.

Для упрощения проверочного расчета допустим, что стяжка крепления царги со спинкой абсолютно жесткая и обеспечивает восприятие момента от силы $P_2/2$ относительно точки А всеми шурупами, расположенными в верхней части стяжки относительно оси симметрии О-О. В этой части $n/2$ шурупов. Условие достаточной прочности крепления спинки с царгами определяется по формуле

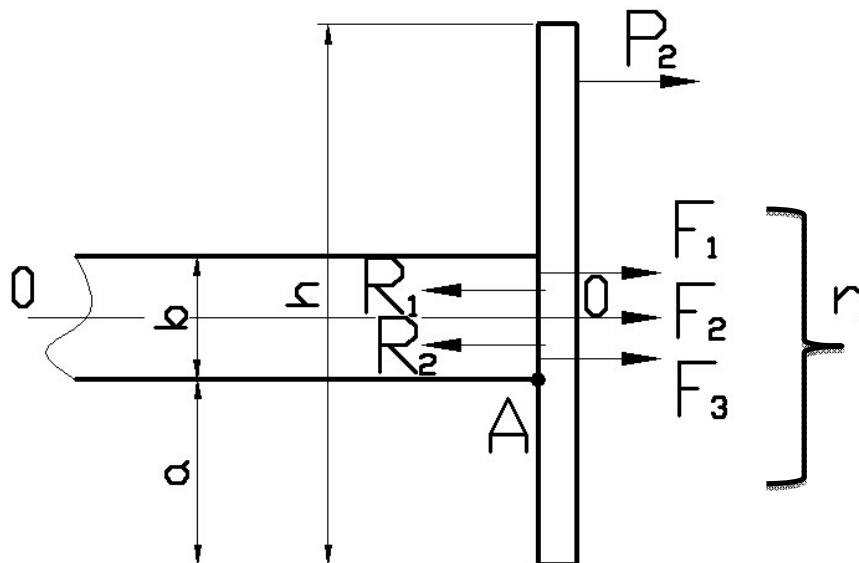


Рис. 5.13. Схема расчета прочности крепления спинки кровати с царгами

P_2 — усилие на спинку кровати, Н;

b — ширина царги;

h — высота спинки;

α — высота крепления царги от уровня пола;

n — количество шурупов в стяжке

$$\sigma_{ш} \geq \frac{2P_2(h-b)}{\pi d l n \left(1 - \frac{1}{n}\right)}, \quad (5.42)$$

где $\sigma_{ш}$ — напряжение в материале спинки при выдергивании шурупов (0,8–1,5 МПа);

P_2 — усилие, действующее на спинку при испытании, определяемое по формуле (5.42), Н;

h — высота спинки, м;

b — ширина царги, м;

d — диаметр шурупа, м;

l — длина нарезки шурупа, м;

n — число шурупов, крепящих царгу к спинке.

Пример расчета

Соединение спинки кровати и царги выполнено стяжкой на 6 шурупах диаметром 5 мм и длиной нарезки 20 мм. Высота спинки кровати 800 мм. Ширина царги 200 мм.

Нагрузка на царгу:

$$P_2 = \frac{240}{h} = \frac{240}{0,6} = 400 \text{ Н}. \quad (5.43)$$

Напряжение в материале спинки при выдергивании шурупов:

$$\sigma_{ш} = \frac{2P_2(h-b)}{\pi d \ln\left(1 - \frac{1}{n}\right)} = \frac{2 \cdot 400 \cdot (0,8 - 0,2)}{3,14 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 6 \left(1 - \frac{1}{6}\right)} = 0,31 \text{ МПа}.$$

Допускаемое напряжение $\sigma_{ш} = (0,8-1,5)$ МПа. Расчетная прочность крепления царги к спинке кровати 0,31 МПа значительно ниже допускаемых пределов прочности.

5.12. Расчет жесткости ученического стула

При конструировании мебельных изделий учитываются условия будущей эксплуатации и назначение изделия. Школьная мебель по интенсивности эксплуатации и по характеру нагружения значительно отличается от бытовой мебели. Поэтому для ученических стульев и столов разработаны специальные методы испытаний и прочностных расчетов, оцениваются устойчивость, жесткость, прочность и долговечность.

Жесткость определяется только у стульев с консольным сидением, поскольку у этих стульев под нагрузкой возникают значительные деформации, вызывающие провисание сиденья и спинки стула.

При определении жесткости стульев с консольным креплением сиденья с помощью индикаторов часового типа измеряется деформация под нагрузкой 1000 Н. Схема испытания показана на рис. 5.14.

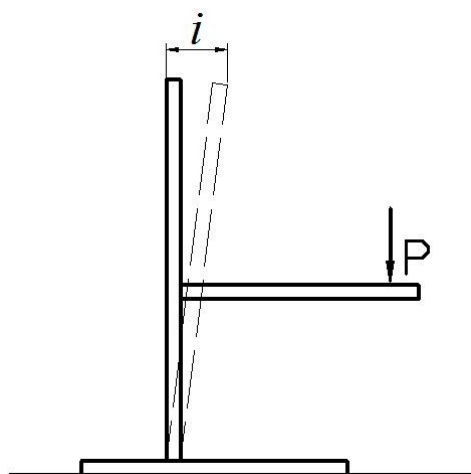


Рис 5.14. Схема испытания ученического стула на жесткость:

P – вертикальная нагрузка, Н;
 i – деформация опор, мм

Показатель жесткости стула \mathcal{J} определяется по формуле

$$\mathcal{J} = \frac{2 \cdot 1000P}{i_1 + i_2}, \quad (5.44)$$

где \mathcal{J} – жесткость стула, должна быть не менее $5 \cdot 10^4$ Н/м;

P – вертикальная нагрузка, 1000 Н;

i_1 и i_2 – показатели индикаторов деформации на двух опорах стула, мм.

Пример расчета

Стул ученический с консольным сидением на двух опорах. Вертикальная нагрузка 1000 Н. Деформация опор после испытаний: $i_1 = 20$ мм; $i_2 = 15$ мм.

Требуется определить жесткость стула.

Расчетная жесткость стула с консольным сидением

$$\mathcal{J} = \frac{2 \cdot 1000P}{i_1 + i_2} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 1000}{20 + 15} = 5,71 \cdot 10^4 \text{ Н / м.}$$

Стул ученический имеет требуемую жесткость, так как расчетная жесткость $5,71 \cdot 10^4$ Н/м превышает требуемую жесткость $5 \cdot 10^4$ Н/м на 14,2 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 16371-2014. Мебель. Общие технические условия: введ. 01.01.2016. М.: Изд-во стандартов, 2015. 31 с.
2. ГОСТ 19971-2014. Мебель для сидения и лежания. Общие технические условия: введ. 01.01.2016. М.: Изд-во стандартов, 2015. 31 с.
3. Таможенный регламент Таможенного союза ТР ТС 025/2012 «О безопасности мебельной продукции»: принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 15 июня 2012 г. № 32. URL: <http://www.rospromtest.ru/content>.
4. Королев В.И. Основы рационального конструирования мебели. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 192 с.
5. Бобиков П.Д. Конструирование столярно-мебельных изделий. М.: Высш. шк., 1980. 174 с.
6. Погребский М.П. Пособие конструктору мебели. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 160 с.
7. Барташевич А.А. Конструирование мебели: учебник для вузов. Минск: Высш. шк., 1998. 335 с.
8. Основы конструирования мебели: учеб. пособие / Ю.И. Ветошкин, М.В. Газеев, А.В. Калюжный и др. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 589 с.